UNIGAS®

Torna a documentazione tecnica

DISPENSE TECNICHE

EDIZIONE 3/2000

prima pagina

INDICE GENERALE

GUIDA PRATICA ALLA SCELTA DI UN BRUCIATORE.....2

LETTURA DEL CONTATORE DI GAS.....15

GUIDA PRATICA ALL'ANALISI DELLA COMBUSTIONE.....22

CIB UNIGAS S.p.A.
Via C. Colombo, 9 35011 CAMPODARSEGO (PD)
Tel. 049-9200944 Fax 049-9200945
Internet: www.cibunigas.it
e-mail: cibunigas@cibunigas.it

GUIDA PRATICA ALLA SCELTA

DI UN BRUCIATORE

G. SCATTOLIN

BRUCIATORI DI:
GAS - GASOLIO - NAFTA - MISTI GAS/GASOLIO - MISTI GAS/OLIO COMBUSTIBILE

prima pagina

I N D I C E

PREMESSA 4

PRIMA PARTE 4
Scelta del Bruciatore 4

SECONDA PARTE 6
Scelta del diametro della rampa gas 6

TERZA PARTE 8
Scelta del boccaglio 8

SUGGERIMENTI 9
Canne fumarie 9

TUBAZIONI 10
Calcolo delle perdite di carico 10

PREMESSA

La scelta di un bruciatore richiede la conoscenza dei seguenti dati fondamentali:
- Potenzialità al focolare della caldaia in kW o kcal/h;
- Contropressione in camera di combustione, definita anche perdita di carico (Δp) lato fumi (il dato dovrà essere ricavato dai cataloghi dei generatori di calore).

Per quanto riguarda i bruciatori di gas necessitano in aggiunta anche i seguenti elementi:
- Pressione minima gas in uscita al contatore o in ingresso nella Centrale Termica;
- Tipo di gas utilizzato e relativo potere calorifico inferiore (PCI).

La procedura di calcolo si divide in tre parti:
- Scelta del bruciatore;
- Scelta del diametro della rampa gas;
- Scelta della lunghezza del boccaglio.

PRIMA PARTE

Scelta del Bruciatore

Premessa
Per maggiore completezza dell'informazione, prenderemo in esame un esempio relativo alla scelta di un bruciatore di gas. E' da tenere presente che nel caso di bruciatori di gasolio od olio combustibile, sarà sufficiente verificare che il punto di lavoro del bruciatore ricada all'interno del proprio campo di lavoro.
Nel caso di bruciatori misti gas/gasolio o gas/olio combustibile per la scelta del bruciatore, valgono i medesimi criteri più avanti illustrati.

Dati necessari:

• Potenzialità al focolare	kW o kcal/h
• Contropressione in camera di combustione	mbar
• Portata gas	Stm^3/h

Esempio:

Tipo gas	Metano
Potenzialità al focolare	kW 600 pari a kcal/h 516.000
Potere calorifico inferiore	kcal/Stm^3 8.125[(1)]
Portata gas	516.000 : 8.125 = 63.5 Stm^3/h
Contropressione in camera di combustione	mbar 4

[(1)] *Potere Calorifico Inferiore (PCI) 8125 kcal/Stm^3 pari a 34.02 MJ/Stm^3 riferito ad una temperatura del gas di 15 °C e ad una pressione barometrica di 1.013 mbar.*

Procedura:

Si individua innanzitutto il modello di bruciatore che ha una potenza minima e massima che comprenda la potenza di calcolo, ricavando questo dato dalle tabelle caratteristiche (vedi esempio in Tabella 1) inserite nei cataloghi commerciali o nei manuali di uso e manutenzione.

Tipo	Modello	Potenzialità kW min	kW max	Kcal/h min	Kcal/h max	Pressione gas mbar min	mbar max	Portata Gas Stm^3/h	Attacchi Gas	Alimentazione Elettrica	Motore 2800 g/min kW	Potenza Elettrica kW	Peso Kg
P60	M-…50	160	800	138.000	688.000	30	200	84.7	2”	230/400 3 a.c.	1.1	1.6	58
P60	M-...65	160	800	138.000	688.000	20	200	84.7	2”½	230/400 3 a.c.	1.1	1.6	65
P72	M-...50	300	1.200	258.000	1.032.000	60	200	127	2”	230/400 3 a.c.	2.2	2.7	150

Tabella 1[(2)]

I bruciatori che coprono la potenzialità necessaria sono tre, Tipo P60 modello M-...50, Tipo P60 modello M-...65 e Tipo P72 modello M-...50.
Qui di seguito sono riportati due soli campi di lavoro, uno per i modelli P60 M-..50 e M-..65 e uno per il modello P72 M-..50, ciò significa che i bruciatori in realtà sono due (i modelli M-...50 e M-..65 si differenziano solo per il diametro della rampa gas).
A questo punto si deve verificare se il bruciatore prescelto riesce a vincere la contropressione in camera di combustione.
Si deve quindi prendere in esame il campo di lavoro dei bruciatori prescelti (Diagramma 1 e 2), si traccia sul diagramma una retta verticale in corrispondenza della potenza (kW 600) e una retta orizzontale in corrispondenza della contropressione (4 mbar).

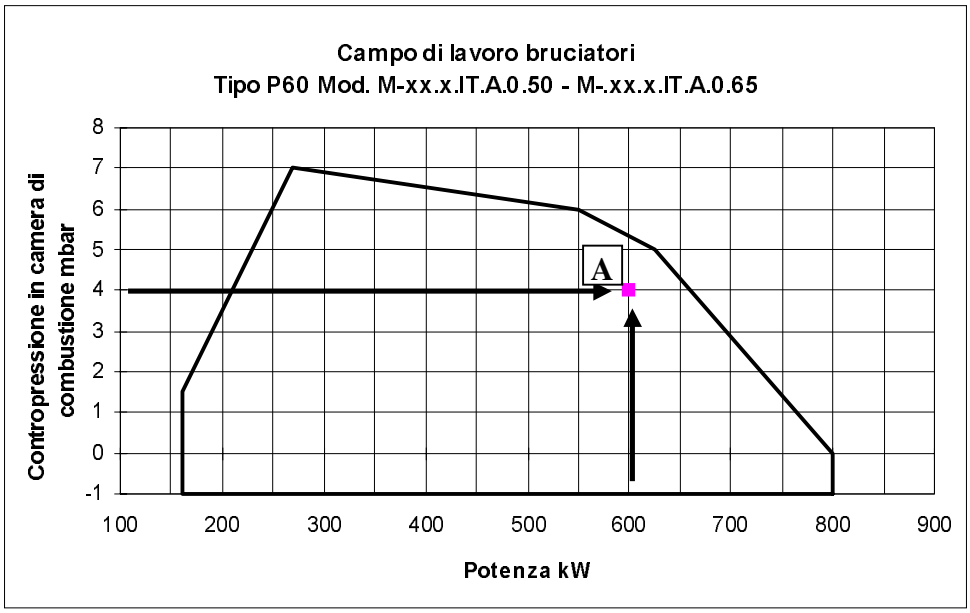


Diagramma 1 (Campo di lavoro)

[(2)] *Le potenzialità riportate in tutte le tabelle sono riferite a gas metano con PCI di 8.125 kcal/Stm^3 e contropressione nulla in camera di combustione.*

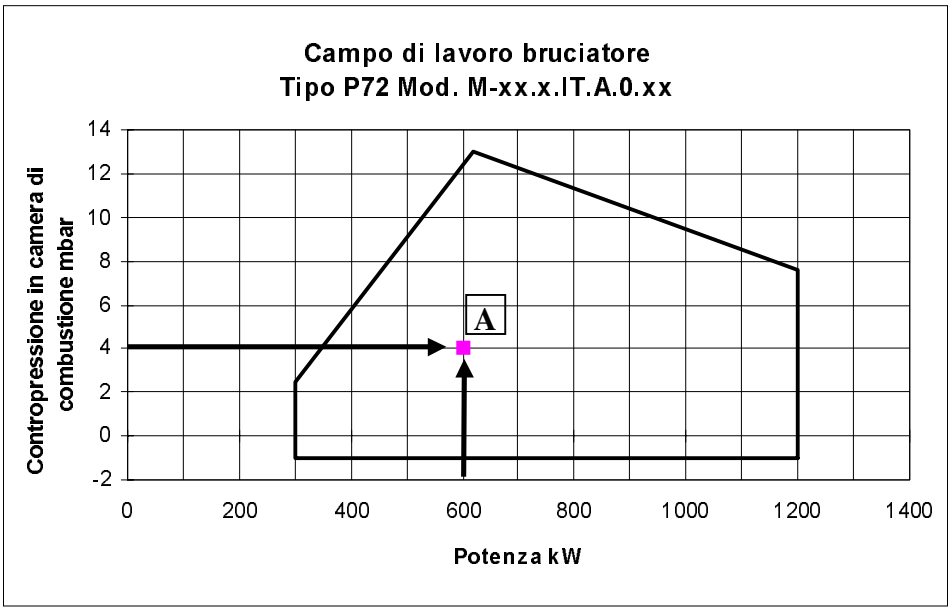


Diagramma 2 (Campo di lavoro)

Il punto d'incontro "A" delle due linee, deve ricadere all'interno del campo di lavoro.
La scelta, come si vede, può ricadere su tutti e due i tipi, ma si sceglierà il tipo P60, sia per ragioni economiche, in quanto è meno costoso, sia per ragioni tecniche, poichè esso ha alla massima potenza un rapporto tra il minimo e il massimo maggiore, pertanto si ha la possibilità di sfruttare appieno le sue caratteristiche.

SECONDA PARTE

Scelta del diametro della rampa gas

Premessa

La recente Direttiva gas (CEE 90/396), e le norme ad essa collegate, hanno imposto ai costruttori di bruciatori di completare la rampa del gas con lo stabilizzatore di pressione e il filtro gas.
Pertanto, non essendo più necessario calcolare il diametro degli accessori, ci limiteremo esclusivamente al calcolo della perdita di carico della rampa gas.
Si deve tenere presente inoltre, che la somma di tutte le perdite non deve superare la pressione del gas a disposizione in rete, nel caso specifico c'è la possibilità di scegliere tra il modello M-...50 oppure il modello M-...65.

Esempio di calcolo

Dati necessari:
Portata gas Stm^3/h 63.5

Nel diagramma Pressione/Portata 3 si traccia una retta verticale partendo da 63.5 Stm^3/h fino al punto "A" o "B" e una retta orizzontale partendo dal punto "A" o "B" fino alla pressione gas in rete.

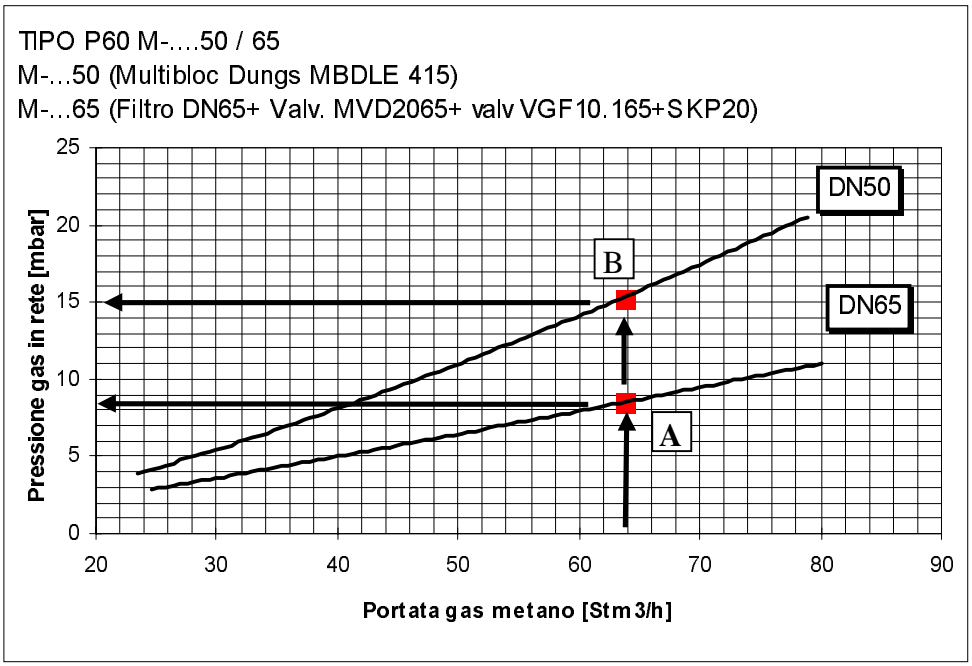


Diagramma 3 (curva pressione portata)

Alla perdita di carico del bruciatore si somma la contropressione in camera di combustione, individuando così la pressione del gas in ingresso alle valvole, necessaria a sviluppare la potenza di 600 kW.

Riepilogo dati:
Pressione gas disponibile in rete mbar 20;

Δp Bruciatore compreso rampa gas DN 50 (Punto "B" diagramma 3)	mbar 15
Δp Lato fumi (Contropressione in camera di combustione)	mbar 4
Totale perdite con rampa gas DN 50	mbar 19
Δp Bruciatore compreso rampa gas DN 65 (Punto "A" diagramma 3)	mbar 8.5
Δp Lato fumi (Contropressione in camera di combustione)	mbar 4
Totale perdite con rampa gas DN 65	mbar 12.5

La scelta può ricadere su entrambi i modelli, tuttavia si deve tenere presente che nel calcolo non sono state considerate le perdite di carico relative alla tubazione, all'eventuale valvola di intercettazione combustibile, ecc..., pertanto nel calcolo delle perdite totali, si dovrà tenere conto anche di queste.

Conclusioni

Nel caso in cui, la somma di tutte le perdite di carico, superi la pressione gas disponibile in rete, si dovrà calcolare una rampa gas adeguata.

TERZA PARTE

Scelta del boccaglio

Per completare il nostro lavoro resta solo da determinare la lunghezza del boccaglio.
Per la scelta della lunghezza del boccaglio ci si deve attenere alle istruzioni del costruttore della caldaia.

In mancanza di queste ci si orienterà nel seguente modo:

- Caldaie in ghisa, caldaie a tre giri fumo (con il primo giro fumi nella parte posteriore):

Il boccaglio dovrà entrare in camera di combustione non oltre 100 mm.
La lunghezza dei boccagli non sempre soddisfa questo requisito, pertanto potrebbe essere necessario utilizzare un distanziale di misura adeguata, che serve a far arretrare il bruciatore in modo da soddisfare le misure di cui sopra.

- Caldaie pressurizzate ad inversione di fiamma:

In questo caso il boccaglio dovrà penetrare in camera di combustione di almeno 50÷100 mm rispetto alla piastra del fascio tubiero.

Nei bruciatori di gas è preferibile utilizzare boccagli con il terminale bordato per favorire la penetrazione della fiamma nella camera di combustione.

SUGGERIMENTI

Canne fumarie

Fra i vari problemi che si devono affrontare nella trasformazione degli impianti da combustibile liquido a combustibile gassoso vi è quello dell'utilizzo della canna fumaria esistente.
La canna fumaria essendo calcolata per un combustibile liquido risulta essere spesso di sezione troppo grande per l'impiego del gas, causando così il raffreddamento dei fumi fino a portarli alla temperatura di condensazione del vapore acqueo.
Premettendo che un metro cubo di gas metano origina notevoli quantità di vapore acqueo, si può ben immaginare i danni che ne derivano, qualora questo dovesse condensare.
L'acqua oltre ad impregnare le pareti (fenomeno visibile anche nella parte esterna o interna del fabbricato), tende a scivolare verso il basso della canna fumaria, trascinando fuliggine che in alcuni casi porta a vere e proprie ostruzioni con grave pericolo.

Di seguito riportiamo alcuni suggerimenti atti ad eliminare il fenomeno:

- Aumentare l'eccesso d'aria diminuendo il valore di CO_2; questa soluzione comporta però un abbassamento del rendimento.
- Inserire dei tubi di dimensioni adeguate all'interno delle canne fumarie introducendo del materiale isolante tra queste e le pareti della canna fumaria; questa soluzione è decisamente la più idonea a risolvere il problema.
- Un'altra "soluzione", se vogliamo un po' empirica ma efficace, consiste nell'introdurre attraverso un'apertura alla base del camino aria secondaria, che, diluendo il CO_2 contenuto nei fumi (si veda il diagramma 1), sposta la temperatura di rugiada ad un valore più basso. In questo modo si attenua parecchio la condensazione del vapore acqueo senza alterare il rendimento di combustione.

Nel caso si decidesse di optare per quest'ultima soluzione, si dovranno adottare alcuni accorgimenti:

- Se l'apertura alla base del camino si trova all'interno della centrale termica, si deve verificare che le aperture di areazione del locale, siano tali da evitare che la soluzione adottata porti ad una carenza di ossigeno nell'ambiente.
- Dove aver effettuato l'apertura, si dovrà inoltre eseguire un'analisi della combustione al fine di verificare se le mutate condizioni di tiraggio hanno in qualche modo alterato i valori di combustione.

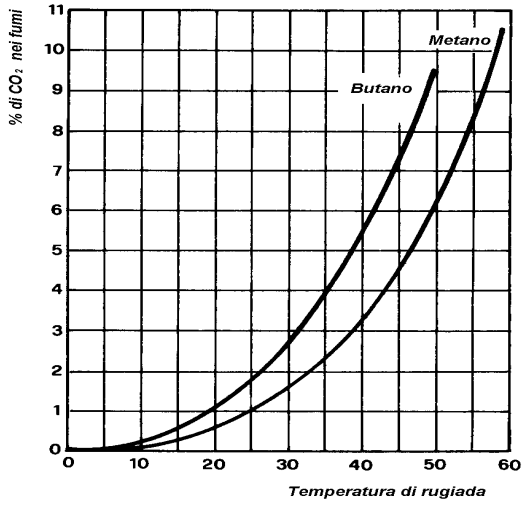


Diagramma 1

TUBAZIONI

Calcolo delle perdite di carico

Premessa

Le sezioni delle tubazioni costituenti l'impianto di adduzione gas, devono essere tali da garantire una portata di gas sufficiente a coprire la portata massima richiesta, limitando la perdita di pressione fra il contatore e qualsiasi apparecchio di utilizzazione a valori non maggiori dei valori riportati in tabella 1 (Norma UNI 7129).

Gas Manifatturato	mbar 0.5
Gas Naturale	mbar 1
GPL	mbar 2

Tabella 1

Calcolo

Il dimensionamento dell'impianto avviene nel seguente modo:

- Si rileva la portata di gas oraria richiesta;
- Si misura lo sviluppo geometrico delle tubazioni e si sommano le lunghezze equivalenti dei pezzi speciali presenti, (Tabella 2) ottenendo in questo modo la lunghezza virtuale della tubazione da calcolare;
- Si procede poi con il calcolo del dimensionamento delle tubazioni, tratto per tratto.

Lunghezze equivalenti (in metri) dei pezzi speciali					
da DN a DN	**curva**	**raccordo o tès**	**croce**	**gomito**	**rubinetto**
Gas naturale - Miscela aria/CH_4 - Gas di cracking					
≤ 20	0.2	0.8	1.5	1.0	0.3
20 ÷ 50	0.5	2.0	4.0	1.5	0.8
50 ÷ 80	0.8	4.0	8.0	3.0	1.5
80 ÷ 100	1.5	6.5	13.0	4.5	2.0
Gas di petrolio liquefatto - Miscele a base di GPL					
≤ 20	0.2	1.0	2.0	1.0	0.3
20 ÷ 50	0.5	2.5	5.0	2.0	0.8
50 ÷ 80	1.0	4.5	9.0	3.0	1.5
80 ÷ 100	1.5	7.5	15.0	5.0	2.0

Tabella 2

Esempio n. 1:

Si deve calcolare il diametro di una tubazione.

Dati necessari:

1. Tipo gas;
2. Lunghezza geometrica della tubazione;
3. Pezzi speciali;
4. Portata in Nm^3/h[(1)];
5. Perdita di carico.

Dati di calcolo:

Tipo di gas	Gas naturale
Lunghezza geometrica della tubazione	m. 50
Pezzi speciali (gomiti)	3
Portata gas	Nm^3/h 40
Perdita di carico massima ammessa	mbar 1

Procedura:

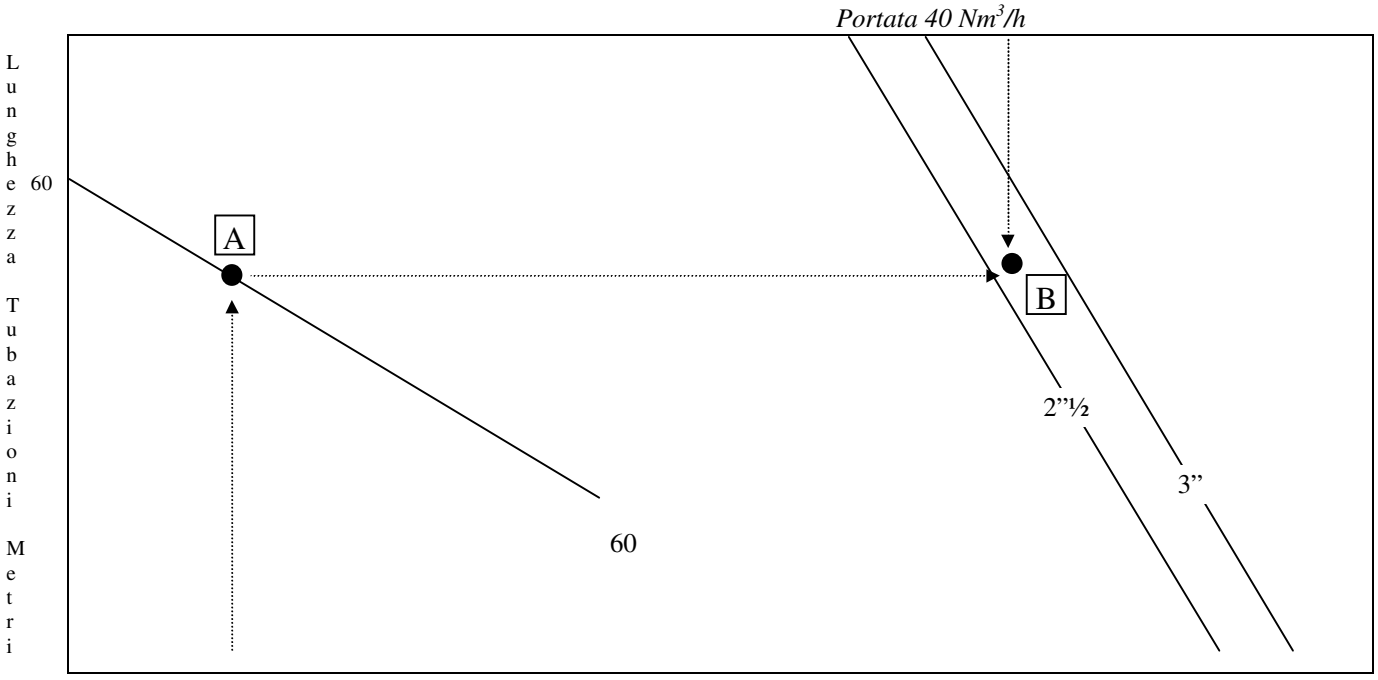
Prima di iniziare, si deve calcolare la lunghezza virtuale della tubazione.

Al fine di individuare la misura equivalente dei pezzi speciali, non conoscendo ancora il diametro della tubazione, si ipotizza un diametro di 3", pertanto la lunghezza virtuale della tubazione è la seguente:

Lunghezza geometrica	m. 50
Lunghezza equivalente (3 gomiti X 3 metri)	m. 9
Lunghezza virtuale	m. 59[(2)]

[(2)]*(Arrotondata a m. 60)*

Per il calcolo del diametro della tubazione viene utilizzato il diagramma riportato pagina 14.



Perdita di carico 1 mbar

Tabella 3

[(1)] *Potere Calorifico Inferiore (PCI) 8570 kcal/Nm^3 pari a 35.89 MJ/Stm^3 riferito ad una temperatura del gas di 0 °C e ad una pressione barometrica di 1.013 mbar.*

Per l'utilizzo del diagramma (vedi esempio in tabella 3) si procede nel seguente modo:
Si tracciano due rette verticali una in corrispondenza della perdita di carico fino all'incrocio con la retta della lunghezza della tubazione (punto "A") e una in corrispondenza della portata del gas.
Partendo dal punto "A" si traccia una retta orizzontale fino ad intersecare quella verticale corrispondente alla portata, stabilendo così il punto "B".
Il punto "B" determina il diametro della tubazione.
Qualora questo si trovasse tra due rette si dovrà scegliere quella di diametro superiore nel nostro esempio da 3".
Come si è visto la scelta iniziale del diametro dei pezzi speciali è risultata corretta, qualora non lo fosse stato, avremmo dovuto ricalcolare la misura virtuale considerando un diametro più appropriato.

Esempio n. 2

Si deve calcolare la perdita di carico di una tubazione esistente.
Si procede come nell'esempio di seguito riportato:

Dati necessari:
1. Tipo gas;
2. Lunghezza geometrica della tubazione;
3. Pezzi speciali;
4. Diametro della tubazione;
5. Portata in Nm^3/h[(1)].

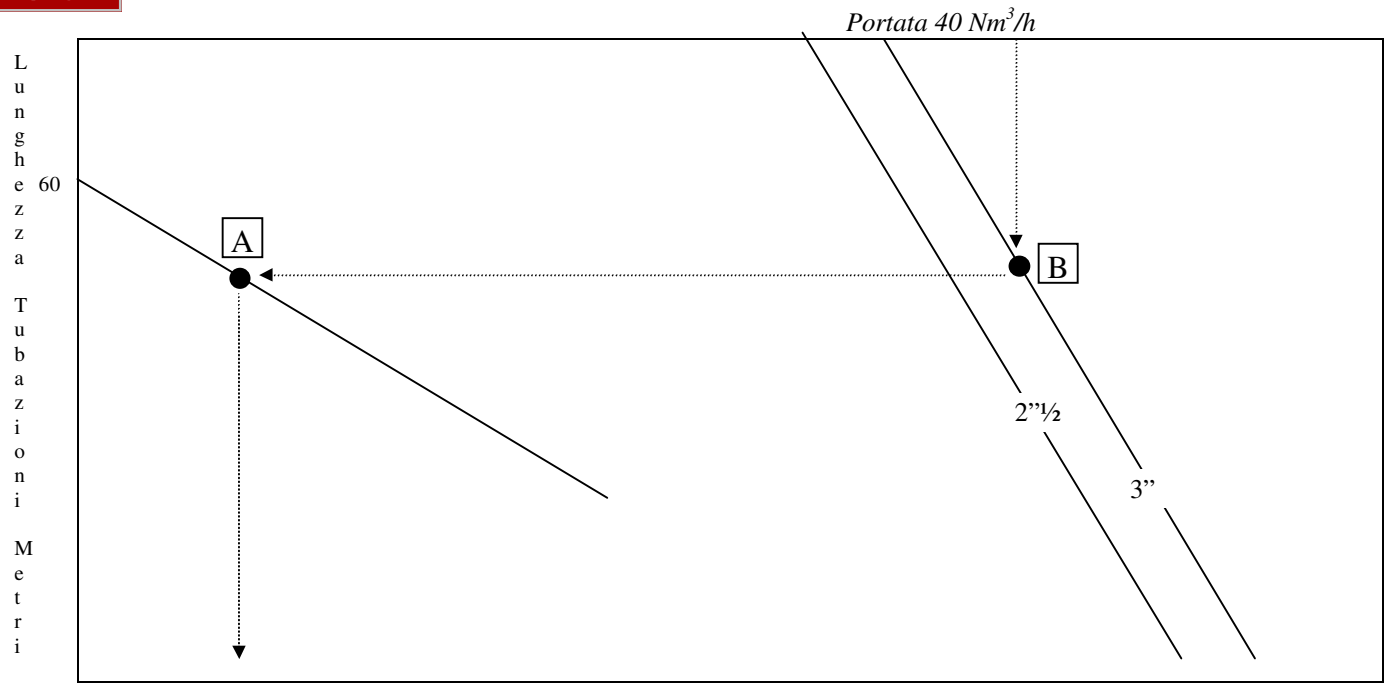
Dati di calcolo:

Tipo di gas	Gas naturale
Lunghezza geometrica della tubazione	m. 50
Pezzi speciali (gomiti)	3
Diametro della tubazione	3"
Portata gas	Nm^3/h 40

Procedura:
Prima di iniziare, si deve calcolare la lunghezza virtuale della tubazione nel seguente modo:

Lunghezza geometrica	m. 50
Lunghezza equivalente (3 gomiti X 3 metri)	m. 9
Lunghezza virtuale	m. 59[(2)]

[(2)]*(Arrotondata a m. 60)*



Perdita di carico 0.5 mbar

Tabella 4

Per l'utilizzo del diagramma (vedi esempio in tabella 4) si procede nel seguente modo:

Partendo dalla portata del gas si traccia una retta verticale fino ad incontrare la retta del diametro della tubazione 3" nel punto "B".
Si parte da questo punto con una retta orizzontale fino ad incontrare la retta della lunghezza della tubazione nel punto "A", da questo punto si scende con una retta verticale individuando così la perdita di carico.
Nell'esempio la perdita di carico è di 0.5 mbar.

CIB UNIGAS S.p.A.
Via C. Colombo, 9 35011 CAMPODARSEGO (PD)
Tel. 049-9200944 Fax 049-9200945
Internet: www.cibunigas.it
e-mail: cibunigas@cibunigas.it

LA LETTURA DEL

CONTATORE DI GAS

G. SCATTOLIN

BRUCIATORI DI:
GAS - GASOLIO - NAFTA - MISTI GAS/GASOLIO - MISTI GAS/OLIO COMBUSTIBILE

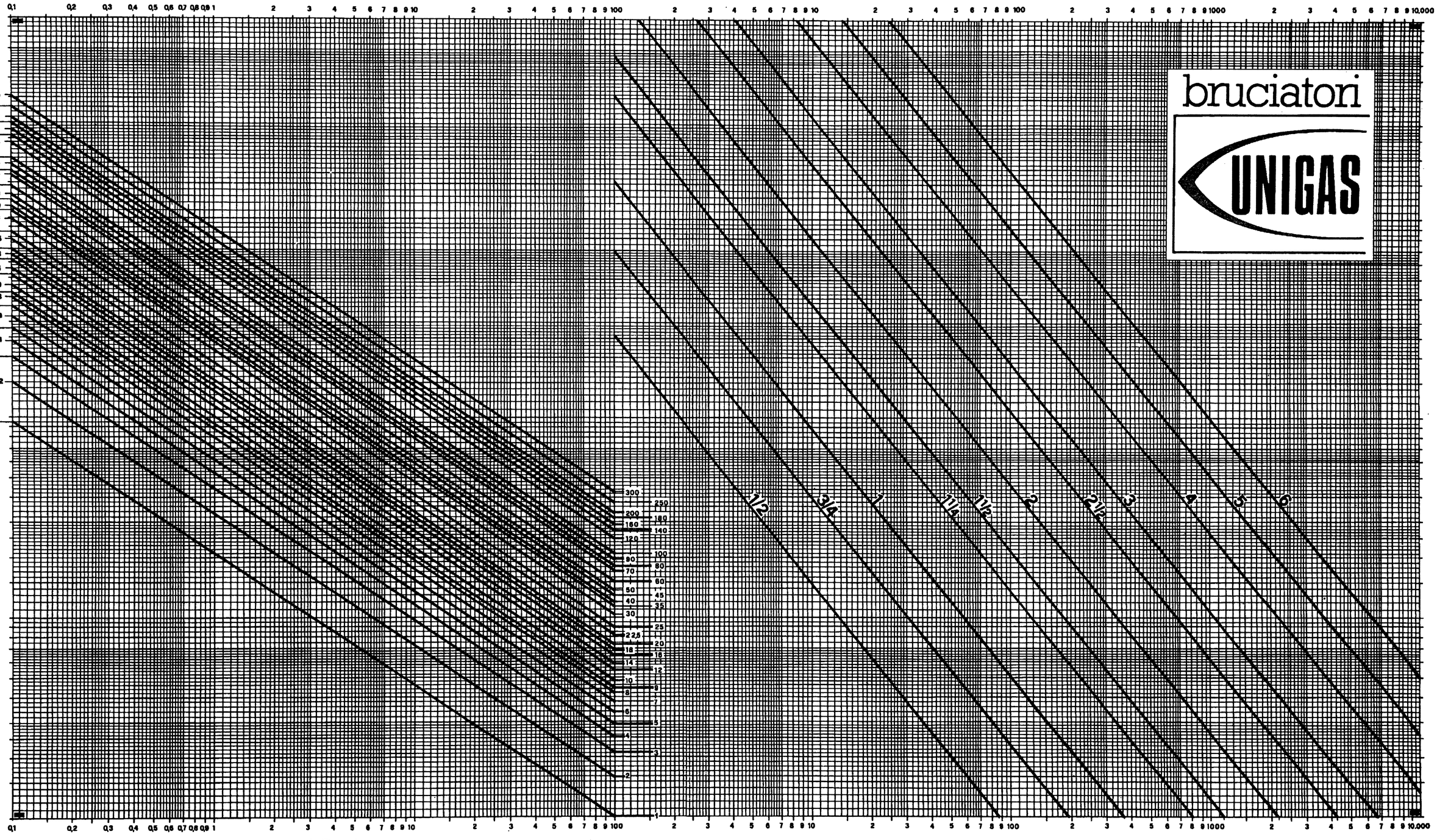
DIAGRAMMA PER LA DETERMINAZIONE DEI DIAMETRI
DIAGRAM FOR DIAMETERS DETERMINATION
PERDITE DI CARICO (ΔP), LUNGHEZZA E PORTATA DELLE TUBAZIONI
PRESSURE DROPS (ΔP), LENGHT AND FLOW RATE OF PIPING

CERT. n. 12 100 6116

CERT. n. 12 100 6116

Portata Nm^3/h / *Flow rate Nm^3/h* Gas naturale / *Natural gas*

Lunghezza tubazioni in metri
Piping lenght in meters



PERDITA DI CARICO / *PRESSURE DROP* **ΔP mbar** Gas naturale / *Natural gas*

Aria *Air*

Gas naturale *Natural gas*

G.P.L. *L.P.G.*

Portata (Q) Nm^3/h / *Flow rate (Q) Nm^3/h*

GAS	Peso specifico Kg/m³ *Specific weight Kg/m³*	Densità *Density*	K
ARIA *AIR*	1.29	1.00	1.00
GAS NATURALE *NATURAL GAS*	0.84	0.65	1.24
GAS LIQUIDO (GPL) *LIQUID GAS (LPG)*	2.19	1.70	0.77

$$Q\ ARIA = \frac{Q\ Gas}{K} \qquad K = \sqrt{\frac{\text{Peso specifico aria } \textit{Air specific weight}}{\text{Peso specifico gas utilizzato } \textit{Specific weight of the used gas}}}$$

CIB UNIGAS
Via C. Colombo, 9 - 35011 CAMPODARSEGO (PD)
Tel. 049/9200944 - Fax 049/9200945 - 9201269
Internet: www.cibunigas.it - E-mail: cibunigas@cibunigas.it

INDICE

LETTURA AL CONTATORE.....17

CORREZIONE DELLA LETTURA AL CONTATORE.....18

FATTORE DI CORREZIONE PER GAS (FOGLIO 1).....19

FATTORE DI CORREZIONE PER GAS (FOGLIO 2).....20

FATTORE DI CORREZIONE PER GAS (FOGLIO 3).....21

Lettura al contatore

Fra i vari sistemi di lettura al contatore il più usato sembra essere quello di leggere la quantità di gas che passa in 60 secondi e moltiplicare poi questo dato per 60 minuti trovando così la portata oraria.

Esempio

m^3	dm^3	
1 5 7,	0 5	Lettura iniziale

m^3	dm^3	
1 5 7,	9 2	Lettura finale

Calcolo

157,92 - 157,05 = 0,87
0,87 x 60 minuti = 52,2 m^3/h

Come sistema è abbastanza valido, anche se, dovendo leggere contemporaneamente il contatore di gas ed il cronometro, il margine di errore può essere considerevole.

Un altro sistema di lettura, consiste nel cronometrare il tempo che impiega un metro cubo di gas a passare attraverso il contatore, dividendo poi i 3600 secondi che compongono l'ora per il tempo cronometrato si ottiene la portata oraria.

m^3	dm^3	
1 5 5 7,	4 4	Lettura iniziale

m^3	dm^3	
1 5 5 8,	4 4	Lettura finale

Calcolo

Tempo cronometrato secondi 45,40

$$m^3/h = \frac{3600}{45,40} = 79,29$$

Il fatto di dover "guardare" solo il contatore, rende questo sistema molto più preciso, a patto, che si tenga conto anche dei centesimi di secondo.

CORREZIONE DELLA LETTURA DEL CONTATORE

Se il contatore del gas è alimentato ad una elevata pressione, è indispensabile tenere conto della comprimibilità del gas per ottenere una corretta lettura, in quanto, comprimendolo, questi riduce il suo volume, e la lettura risulta inferiore all'effettiva portata.

La formula da applicare per la correzione dei valori letti, riferita allo Stm^3[(1)] , è la seguente:

$$Qvc = Qvi\sqrt{\frac{1013+P}{1013}\times\frac{Pb+P}{1013}\times\frac{288}{273+tg}\times\frac{d}{dr}}$$

Dove:

Qvc	è la portata corretta
Qvi	è la portata in volume misurata
P	è la pressione del gas al contatore in mbar
Pb	è la pressione atmosferica in mbar
tg	è la temperatura del gas al contatore
d	è la densità relativa del gas di prova
dr	è la densità relativa del gas di riferimento

Come si può notare l'applicazione di questa formula comporta la conoscenza di dati impossibili da rilevare quando si è sull'impianto.
Pertanto il consiglio che Vi possiamo dare è quello di applicare una formula pratica molto più abbreviata e cioè:

$$Qvc = Qvi\frac{1013+P}{1013}$$

$$Qvc = 52{,}2\times\frac{1013+100}{1013} = 57{,}35 \text{ m}^3/\text{h}$$

L'impiego di queste formule è consigliato per pressioni superiori a 40 mbar al contatore.

Di seguito (pagg. 19-20-21) riportiamo le tabelle relative ai fattori di correzione da applicare (in sostituzione della formula) nel caso ci si trovi nelle condizioni di cui sopra.
Per ottenere la portata in Nm^3/h, sarà sufficiente moltiplicare la portata di gas, misurata al contatore, per il fattore di correzione corrispondente alla temperatura e alla pressione gas rilevate al contatore.

Esempio:
Portata oraria 52.2 m^3/h
Pressione gas al contatore 100 mbar
Temperatura gas 0 °C
Fattore di correzione (vedi pagina 19) 1.0987

Portata gas reale (52.2 X 1.0987) = 57.35 m^3/h

---

(1) Potere Calorifico Inferiore (PCI) 8125 kcal/Stm^3 pari a 34.02 MJ/Stm^3 riferito ad una temperatura del gas di 15 °C e ad una pressione barometrica di 1.013 mbar.

FATTORE DI CORREZIONE PER GAS

Pb = 1013 mbar = pressione barometrica FOGLIO 1 da 0 a 500 mbar

I valori si intendono per pressione misurata del gas uguale a Pgas/mbar (1) con Pb=1013 mbar

Pgas/mbar	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30 tg/°c
0	1.0000	0.9927	0.9856	0.9785	0.9715	0.9647	0.9579	0.9512	0.9446	0.9381	0.9317	0.9254	0.9192	0.9130	0.9070	0.9010
10	1.0099	1.0025	0.9953	0.9882	0.9811	0.9742	0.9674	0.9606	0.9540	0.9474	0.9409	0.9346	0.9283	0.9221	0.9159	0.9099
20	1.0197	1.0123	1.0050	0.9978	0.9907	0.9837	0.9768	0.9700	0.9633	0.9567	0.9501	0.9437	0.9373	0.9311	0.9249	0.9188
30	1.0296	1.0221	1.0147	1.0075	1.0003	0.9932	0.9863	0.9794	0.9726	0.9659	0.9593	0.9528	0.9464	0.9401	0.9338	0.9277
40	1.0395	1.0319	1.0245	1.0171	1.0099	1.0028	0.9957	0.9888	0.9819	0.9752	0.9685	0.9620	0.9555	0.9491	0.9428	0.9366
50	1.0494	1.0417	1.0342	1.0268	1.0195	1.0123	1.0052	0.9982	0.9913	0.9844	0.9777	0.9711	0.9646	0.9581	0.9517	0.9455
60	1.0592	1.0515	1.0439	1.0365	1.0291	1.0218	1.0146	1.0076	1.0006	0.9937	0.9869	0.9802	0.9736	0.9671	0.9607	0.9544
70	1.0691	1.0613	1.0537	1.0461	1.0387	1.0313	1.0241	1.0170	1.0099	1.0030	0.9961	0.9894	0.9827	0.9761	0.9697	0.9633
80	1.0790	1.0711	1.0634	1.0558	1.0483	1.0408	1.0335	1.0263	1.0192	1.0122	1.0053	0.9985	0.9918	0.9851	0.9786	0.9721
90	1.0888	1.0809	1.0731	1.0654	1.0578	1.0504	1.0430	1.0357	1.0286	1.0215	1.0145	1.0076	1.0009	0.9942	0.9876	0.9810
100	1.0987	1.0907	1.0829	1.0751	1.0674	1.0599	1.0525	1.0451	1.0379	1.0308	1.0237	1.0168	1.0099	1.0032	0.9965	0.9899
110	1.1086	1.1005	1.0926	1.0847	1.0770	1.0694	1.0619	1.0545	1.0472	1.0400	1.0329	1.0259	1.0190	1.0122	1.0055	0.9988
120	1.1185	1.1103	1.1023	1.0944	1.0866	1.0789	1.0714	1.0639	1.0565	1.0493	1.0421	1.0350	1.0281	1.0212	1.0144	1.0077
130	1.1283	1.1201	1.1120	1.1041	1.0962	1.0885	1.0808	1.0733	1.0659	1.0585	1.0513	1.0442	1.0372	1.0302	1.0234	1.0166
140	1.1382	1.1299	1.1218	1.1137	1.1058	1.0980	1.0903	1.0827	1.0752	1.0678	1.0605	1.0533	1.0462	1.0392	1.0323	1.0255
150	1.1481	1.1397	1.1315	1.1234	1.1154	1.1075	1.0997	1.0921	1.0845	1.0771	1.0697	1.0625	1.0553	1.0482	1.0413	1.0344
160	1.1579	1.1495	1.1412	1.1330	1.1250	1.1170	1.1092	1.1015	1.0938	1.0863	1.0789	1.0716	1.0644	1.0573	1.0502	1.0433
170	1.1678	1.1593	1.1510	1.1427	1.1346	1.1266	1.1186	1.1109	1.1032	1.0956	1.0881	1.0807	1.0734	1.0663	1.0592	1.0522
180	1.1777	1.1691	1.1607	1.1524	1.1442	1.1361	1.1281	1.1202	1.1125	1.1048	1.0973	1.0899	1.0825	1.0753	1.0681	1.0611
190	1.1876	1.1789	1.1704	1.1620	1.1538	1.1456	1.1376	1.1296	1.1218	1.1141	1.1065	1.0990	1.0916	1.0843	1.0771	1.0700
200	1.1974	1.1887	1.1801	1.1717	1.1633	1.1551	1.1470	1.1390	1.1311	1.1234	1.1157	1.1081	1.1007	1.0933	1.0860	1.0789
210	1.2073	1.1985	1.1899	1.1813	1.1729	1.1646	1.1565	1.1484	1.1405	1.1326	1.1249	1.1173	1.1097	1.1023	1.0950	1.0878
220	1.2172	1.2083	1.1996	1.1910	1.1825	1.1742	1.1659	1.1578	1.1498	1.1419	1.1341	1.1264	1.1188	1.1113	1.1040	1.0967
230	1.2270	1.2181	1.2093	1.2007	1.1921	1.1837	1.1754	1.1672	1.1591	1.1511	1.1433	1.1355	1.1279	1.1203	1.1129	1.1056
240	1.2369	1.2279	1.2191	1.2103	1.2017	1.1932	1.1848	1.1766	1.1684	1.1604	1.1525	1.1447	1.1370	1.1294	1.1219	1.1145
250	1.2468	1.2377	1.2288	1.2200	1.2113	1.2027	1.1943	1.1860	1.1778	1.1697	1.1617	1.1538	1.1460	1.1384	1.1308	1.1233
260	1.2567	1.2475	1.2385	1.2296	1.2209	1.2123	1.2038	1.1954	1.1871	1.1789	1.1709	1.1629	1.1551	1.1474	1.1398	1.1322
270	1.2665	1.2573	1.2482	1.2393	1.2305	1.2218	1.2132	1.2048	1.1964	1.1882	1.1801	1.1721	1.1642	1.1564	1.1487	1.1411
280	1.2764	1.2671	1.2580	1.2490	1.2401	1.2313	1.2227	1.2141	1.2057	1.1975	1.1893	1.1812	1.1733	1.1654	1.1577	1.1500
290	1.2863	1.2769	1.2677	1.2586	1.2497	1.2408	1.2321	1.2235	1.2151	1.2067	1.1985	1.1904	1.1823	1.1744	1.1666	1.1589
300	1.2962	1.2867	1.2774	1.2683	1.2592	1.2503	1.2416	1.2329	1.2244	1.2160	1.2077	1.1995	1.1914	1.1834	1.1756	1.1678
310	1.3060	1.2965	1.2872	1.2779	1.2688	1.2599	1.2510	1.2423	1.2337	1.2252	1.2169	1.2086	1.2005	1.1925	1.1845	1.1767
320	1.3159	1.3063	1.2969	1.2876	1.2784	1.2694	1.2605	1.2517	1.2430	1.2345	1.2261	1.2178	1.2096	1.2015	1.1935	1.1856
330	1.3258	1.3161	1.3066	1.2973	1.2880	1.2789	1.2699	1.2611	1.2524	1.2438	1.2353	1.2269	1.2186	1.2105	1.2024	1.1945
340	1.3356	1.3259	1.3163	1.3069	1.2976	1.2884	1.2794	1.2705	1.2617	1.2530	1.2445	1.2360	1.2277	1.2195	1.2114	1.2034
350	1.3455	1.3357	1.3261	1.3166	1.3072	1.2980	1.2889	1.2799	1.2710	1.2623	1.2537	1.2452	1.2368	1.2285	1.2203	1.2123
360	1.3554	1.3455	1.3358	1.3262	1.3168	1.3075	1.2983	1.2893	1.2803	1.2715	1.2629	1.2543	1.2459	1.2375	1.2293	1.2212
370	1.3653	1.3553	1.3455	1.3359	1.3264	1.3170	1.3078	1.2987	1.2897	1.2808	1.2721	1.2634	1.2549	1.2465	1.2383	1.2301
380	1.3751	1.3651	1.3553	1.3456	1.3360	1.3265	1.3172	1.3080	1.2990	1.2901	1.2813	1.2726	1.2640	1.2555	1.2472	1.2390
390	1.3850	1.3749	1.3650	1.3552	1.3456	1.3361	1.3267	1.3174	1.3083	1.2993	1.2905	1.2817	1.2731	1.2646	1.2562	1.2479
400	1.3949	1.3847	1.3747	1.3649	1.3552	1.3456	1.3361	1.3268	1.3176	1.3086	1.2997	1.2908	1.2822	1.2736	1.2651	1.2568
410	1.4047	1.3945	1.3845	1.3745	1.3647	1.3551	1.3456	1.3362	1.3270	1.3178	1.3089	1.3000	1.2912	1.2826	1.2741	1.2657
420	1.4146	1.4043	1.3942	1.3842	1.3743	1.3646	1.3550	1.3456	1.3363	1.3271	1.3180	1.3091	1.3003	1.2916	1.2830	1.2745
430	1.4245	1.4141	1.4039	1.3938	1.3839	1.3741	1.3645	1.3550	1.3456	1.3364	1.3272	1.3182	1.3094	1.3006	1.2920	1.2834
440	1.4344	1.4239	1.4136	1.4035	1.3935	1.3837	1.3740	1.3644	1.3549	1.3456	1.3364	1.3274	1.3184	1.3096	1.3009	1.2923
450	1.4442	1.4337	1.4234	1.4132	1.4031	1.3932	1.3834	1.3738	1.3643	1.3549	1.3456	1.3365	1.3275	1.3186	1.3099	1.3012
460	1.4541	1.4435	1.4331	1.4228	1.4127	1.4027	1.3929	1.3832	1.3736	1.3642	1.3548	1.3457	1.3366	1.3277	1.3188	1.3101
470	1.4640	1.4533	1.4428	1.4325	1.4223	1.4122	1.4023	1.3926	1.3829	1.3734	1.3640	1.3548	1.3457	1.3367	1.3278	1.3190
480	1.4738	1.4631	1.4526	1.4421	1.4319	1.4218	1.4118	1.4019	1.3922	1.3827	1.3732	1.3639	1.3547	1.3457	1.3367	1.3279
490	1.4837	1.4729	1.4623	1.4518	1.4415	1.4313	1.4212	1.4113	1.4016	1.3919	1.3824	1.3731	1.3638	1.3547	1.3457	1.3368
500	1.4936	1.4827	1.4720	1.4615	1.4511	1.4408	1.4307	1.4207	1.4109	1.4012	1.3916	1.3822	1.3729	1.3637	1.3546	1.3457

(1) 1 mbar = 10 mm H_2O 1 atmosfera = 1Kg/cm^2 = 1000 mbar = 10000 mm H_2O

FATTORE DI CORREZIONE PER GAS

Pb = 1013 mbar = pressione barometrica FOGLIO 2 da 500 a 1000 mbar

I valori si intendono per pressione misurata del gas uguale a Pgas/mbar (1) con Pb=1013 mbar

Pgas/mbar	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30 tg/°c
500	1.4936	1.4827	1.4720	1.4615	1.4511	1.4408	1.4307	1.4207	1.4109	1.4012	1.3916	1.3822	1.3729	1.3637	1.3546	1.3457
510	1.5035	1.4925	1.4817	1.4711	1.4607	1.4503	1.4402	1.4301	1.4202	1.4105	1.4008	1.3913	1.3820	1.3727	1.3636	1.3546
520	1.5133	1.5023	1.4915	1.4808	1.4702	1.4599	1.4496	1.4395	1.4295	1.4197	1.4100	1.4005	1.3910	1.3817	1.3726	1.3635
530	1.5232	1.5121	1.5012	1.4904	1.4798	1.4694	1.4591	1.4489	1.4389	1.4290	1.4192	1.4096	1.4001	1.3907	1.3815	1.3724
540	1.5331	1.5219	1.5109	1.5001	1.4894	1.4789	1.4685	1.4583	1.4482	1.4382	1.4284	1.4187	1.4092	1.3998	1.3905	1.3813
550	1.5429	1.5317	1.5207	1.5098	1.4990	1.4884	1.4780	1.4677	1.4575	1.4475	1.4376	1.4279	1.4183	1.4088	1.3994	1.3902
560	1.5528	1.5415	1.5304	1.5194	1.5086	1.4979	1.4874	1.4771	1.4668	1.4568	1.4468	1.4370	1.4273	1.4178	1.4084	1.3991
570	1.5627	1.5513	1.5401	1.5291	1.5182	1.5075	1.4969	1.4865	1.4762	1.4660	1.4560	1.4461	1.4364	1.4268	1.4173	1.4080
580	1.5726	1.5611	1.5498	1.5387	1.5278	1.5170	1.5063	1.4958	1.4855	1.4753	1.4652	1.4553	1.4455	1.4358	1.4263	1.4169
590	1.5824	1.5709	1.5596	1.5484	1.5374	1.5265	1.5158	1.5052	1.4948	1.4845	1.4744	1.4644	1.4546	1.4448	1.4352	1.4258
600	1.5923	1.5807	1.5693	1.5581	1.5470	1.5360	1.5253	1.5146	1.5041	1.4938	1.4836	1.4736	1.4636	1.4538	1.4442	1.4346
610	1.6022	1.5905	1.5790	1.5677	1.5566	1.5456	1.5347	1.5240	1.5135	1.5031	1.4928	1.4827	1.4727	1.4629	1.4531	1.4435
620	1.6120	1.6003	1.5888	1.5774	1.5661	1.5551	1.5442	1.5334	1.5228	1.5123	1.5020	1.4918	1.4818	1.4719	1.4621	1.4524
630	1.6219	1.6101	1.5985	1.5870	1.5757	1.5646	1.5536	1.5428	1.5321	1.5216	1.5112	1.5010	1.4909	1.4809	1.4710	1.4613
640	1.6318	1.6199	1.6082	1.5967	1.5853	1.5741	1.5631	1.5522	1.5414	1.5309	1.5204	1.5101	1.4999	1.4899	1.4800	1.4702
650	1.6417	1.6297	1.6180	1.6064	1.5949	1.5836	1.5725	1.5616	1.5508	1.5401	1.5296	1.5192	1.5090	1.4989	1.4889	1.4791
660	1.6515	1.6395	1.6277	1.6160	1.6045	1.5932	1.5820	1.5710	1.5601	1.5494	1.5388	1.5284	1.5181	1.5079	1.4979	1.4880
670	1.6614	1.6493	1.6374	1.6257	1.6141	1.6027	1.5914	1.5804	1.5694	1.5586	1.5480	1.5375	1.5271	1.5169	1.5069	1.4969
680	1.6713	1.6591	1.6471	1.6353	1.6237	1.6122	1.6009	1.5897	1.5787	1.5679	1.5572	1.5466	1.5362	1.5259	1.5158	1.5058
690	1.6811	1.6689	1.6569	1.6450	1.6333	1.6217	1.6104	1.5991	1.5881	1.5772	1.5664	1.5558	1.5453	1.5350	1.5248	1.5147
700	1.6910	1.6787	1.6666	1.6547	1.6429	1.6313	1.6198	1.6085	1.5974	1.5864	1.5756	1.5649	1.5544	1.5440	1.5337	1.5236
710	1.7009	1.6885	1.6763	1.6643	1.6525	1.6408	1.6293	1.6179	1.6067	1.5957	1.5848	1.5740	1.5634	1.5530	1.5427	1.5325
720	1.7108	1.6983	1.6861	1.6740	1.6621	1.6503	1.6387	1.6273	1.6160	1.6049	1.5940	1.5832	1.5725	1.5620	1.5516	1.5414
730	1.7206	1.7081	1.6958	1.6836	1.6716	1.6598	1.6482	1.6367	1.6254	1.6142	1.6032	1.5923	1.5816	1.5710	1.5606	1.5503
740	1.7305	1.7179	1.7055	1.6933	1.6812	1.6694	1.6576	1.6461	1.6347	1.6235	1.6124	1.6014	1.5907	1.5800	1.5695	1.5592
750	1.7404	1.7277	1.7152	1.7029	1.6908	1.6789	1.6671	1.6555	1.6440	1.6327	1.6216	1.6106	1.5997	1.5890	1.5785	1.5681
760	1.7502	1.7375	1.7250	1.7126	1.7004	1.6884	1.6766	1.6649	1.6533	1.6420	1.6308	1.6197	1.6088	1.5981	1.5874	1.5770
770	1.7601	1.7473	1.7347	1.7223	1.7100	1.6979	1.6860	1.6743	1.6627	1.6512	1.6400	1.6289	1.6179	1.6071	1.5964	1.5858
780	1.7700	1.7571	1.7444	1.7319	1.7196	1.7074	1.6955	1.6836	1.6720	1.6605	1.6492	1.6380	1.6270	1.6161	1.6053	1.5947
790	1.7799	1.7669	1.7542	1.7416	1.7292	1.7170	1.7049	1.6930	1.6813	1.6698	1.6584	1.6471	1.6360	1.6251	1.6143	1.6063
800	1.7897	1.7767	1.7639	1.7512	1.7388	1.7265	1.7144	1.7024	1.6906	1.6790	1.6676	1.6563	1.6451	1.6341	1.6232	1.6125
810	1.7996	1.7865	1.7736	1.7609	1.7484	1.7360	1.7238	1.7118	1.7000	1.6883	1.6768	1.6654	1.6542	1.6431	1.6322	1.6214
820	1.8095	1.7963	1.7833	1.7706	1.7580	1.7455	1.7333	1.7212	1.7093	1.6976	1.6860	1.6745	1.6633	1.6521	1.6412	1.6303
830	1.8193	1.8061	1.7931	1.7802	1.7676	1.7551	1.7427	1.7306	1.7186	1.7068	1.6952	1.6837	1.6723	1.6611	1.6501	1.6392
840	1.8292	1.8159	1.8028	1.7899	1.7771	1.7646	1.7522	1.7400	1.7279	1.7161	1.7044	1.6928	1.6814	1.6702	1.6591	1.6481
850	1.8391	1.8257	1.8125	1.7995	1.7867	1.7741	1.7617	1.7494	1.7373	1.7253	1.7136	1.7019	1.6905	1.6792	1.6680	1.6570
860	1.8490	1.8355	1.8223	1.8092	1.7963	1.7836	1.7711	1.7588	1.7466	1.7346	1.7228	1.7111	1.6996	1.6882	1.6770	1.6659
870	1.8588	1.8453	1.8320	1.8189	1.8059	1.7932	1.7806	1.7682	1.7559	1.7439	1.7320	1.7202	1.7086	1.6972	1.6859	1.6748
880	1.8687	1.8551	1.8417	1.8285	1.8155	1.8027	1.7900	1.7776	1.7652	1.7531	1.7412	1.7293	1.7177	1.7062	1.6949	1.6837
890	1.8786	1.8649	1.8515	1.8382	1.8251	1.8122	1.7995	1.7869	1.7746	1.7624	1.7503	1.7385	1.7268	1.7152	1.7038	1.6926
900	1.8885	1.8747	1.8612	1.8478	1.8347	1.8217	1.8089	1.7963	1.7839	1.7716	1.7595	1.7476	1.7358	1.7242	1.7128	1.7015
910	1.8983	1.8845	1.8709	1.8575	1.8443	1.8312	1.8184	1.8057	1.7932	1.7809	1.7687	1.7568	1.7449	1.7333	1.7217	1.7104
920	1.9082	1.8943	1.8806	1.8672	1.8539	1.8408	1.8278	1.8151	1.8025	1.7902	1.7779	1.7659	1.7540	1.7423	1.7307	1.7193
930	1.9181	1.9041	1.8904	1.8768	1.8635	1.8503	1.8373	1.8245	1.8119	1.7994	1.7871	1.7750	1.7631	1.7513	1.7396	1.7282
940	1.9279	1.9139	1.9001	1.8865	1.8730	1.8598	1.8468	1.8339	1.8212	1.8087	1.7963	1.7842	1.7721	1.7603	1.7486	1.7371
950	1.9378	1.9237	1.9098	1.8961	1.8826	1.8693	1.8562	1.8433	1.8305	1.8179	1.8055	1.7933	1.7812	1.7693	1.7575	1.7459
960	1.9477	1.9335	1.9196	1.9058	1.8922	1.8789	1.8657	1.8527	1.8399	1.8272	1.8147	1.8024	1.7903	1.7783	1.7665	1.7548
970	1.9576	1.9433	1.9293	1.9155	1.9018	1.8884	1.8751	1.8621	1.8492	1.8365	1.8239	1.8116	1.7994	1.7873	1.7755	1.7637
980	1.9674	1.9531	1.9390	1.9251	1.9114	1.8979	1.8846	1.8715	1.8585	1.8457	1.8331	1.8207	1.8084	1.7963	1.7844	1.7726
990	1.9773	1.9629	1.9487	1.9348	1.9210	1.9074	1.8940	1.8808	1.8678	1.8550	1.8423	1.8298	1.8175	1.8054	1.7934	1.7815
1000	1.9872	1.9727	1.9585	1.9444	1.9306	1.9169	1.9035	1.8902	1.8772	1.8642	1.8515	1.8390	1.8266	1.8144	1.8023	1.7904

(1) 1 mbar = 10 mm H_2O 1 atmosfera = 1Kg/cm^2 = 1000 mbar = 10000 mm H_2O

FATTORE DI CORREZIONE PER GAS

Pb = 1013 mbar = pressione barometrica FOGLIO 3 da 1000 a 1500 mbar

I valori si intendono per pressione misurata del gas uguale a Pgas/mbar (1) con Pb=1013 mbar

Pgas/mbar	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30 tg/°c
1000	1.9872	1.9727	1.9585	1.9444	1.9306	1.9169	1.9035	1.8902	1.8772	1.8642	1.8515	1.8390	1.8266	1.8144	1.8023	1.7904
1010	1.9970	1.9825	1.9682	1.9541	1.9402	1.9265	1.9130	1.8996	1.8865	1.8735	1.8607	1.8481	1.8357	1.8234	1.8113	1.7993
1020	2.0069	1.9923	1.9779	1.9638	1.9498	1.9360	1.9224	1.9090	1.8958	1.8828	1.8699	1.8572	1.8447	1.8324	1.8202	1.8082
1030	2.0168	2.0021	1.9877	1.9734	1.9594	1.9455	1.9319	1.9184	1.9051	1.8920	1.8791	1.8664	1.8538	1.8414	1.8292	1.8171
1040	2.0267	2.0119	1.9974	1.9831	1.9690	1.9550	1.9413	1.9278	1.9145	1.9013	1.8883	1.8755	1.8629	1.8504	1.8381	1.8260
1050	2.0365	2.0217	2.0071	1.9927	1.9785	1.9646	1.9805	1.9372	1.9238	1.9106	1.8975	1.8846	1.8720	1.8594	1.8471	1.8349
1060	2.0464	2.0315	2.0168	2.0024	1.9881	1.9741	1.9602	1.9466	1.9331	1.9198	1.9067	1.8938	1.8810	1.8684	1.8560	1.8438
1070	2.0563	2.0413	2.0266	2.0120	1.9977	1.9836	1.9697	1.9560	1.9424	1.9291	1.9159	1.9029	1.8901	1.8775	1.8650	1.8527
1080	2.0661	2.0511	2.0363	2.0217	2.0073	1.9931	1.9791	1.9654	1.9518	1.9383	1.9251	1.9121	1.8992	1.8865	1.8739	1.8616
1090	2.0760	2.0609	2.0460	2.0314	2.0169	2.0027	1.9886	1.9747	1.9611	1.9476	1.9343	1.9212	1.9083	1.8955	1.8829	1.8705
1100	2.0859	2.0707	2.0558	2.0410	2.0265	2.0122	1.9981	1.9841	1.9704	1.9569	1.9435	1.9303	1.9173	1.9045	1.8918	1.8794
1110	2.0958	2.0805	2.0655	2.0507	2.0361	2.0217	2.0075	1.9935	1.9797	1.9661	1.9527	1.9395	1.9264	1.9135	1.9008	1.8883
1120	2.1056	2.0903	2.0752	2.0603	2.0457	2.0312	2.0170	2.0029	1.9891	1.9754	1.9619	1.9486	1.9355	1.9225	1.9098	1.8971
1130	2.1155	2.1001	2.0849	2.0700	2.0553	2.0407	2.0264	2.0123	1.9984	1.9846	1.9711	1.9577	1.9445	1.9315	1.9187	1.9060
1140	2.1254	2.1099	2.0947	2.0797	2.0649	2.0503	2.0359	2.0217	2.0077	1.9939	1.9803	1.9669	1.9536	1.9406	1.9277	1.9149
1150	2.1352	2.1197	2.1044	2.0893	2.0745	2.0598	2.0453	2.0311	2.0170	2.0032	1.9895	1.9760	1.9627	1.9496	1.9366	1.9238
1160	2.1451	2.1295	2.1141	2.0990	2.0840	2.0693	2.0548	2.0405	2.0264	2.0124	1.9987	1.9851	1.9718	1.9586	1.9456	1.9327
1170	2.1550	2.1393	2.1239	2.1086	2.0936	2.0788	2.0642	2.0499	2.0357	2.0217	2.0079	1.9943	1.9808	1.9676	1.9545	1.9416
1180	2.1649	2.1491	2.1336	2.1183	2.1032	2.0884	2.0737	2.0593	2.0450	2.0309	2.0171	2.0034	1.9899	1.9766	1.9635	1.9505
1190	2.1747	2.1589	2.1433	2.1280	2.1128	2.0979	2.0832	2.0686	2.0543	2.0402	2.0263	2.0125	1.9990	1.9856	1.9724	1.9594
1200	2.1846	2.1687	2.1531	2.1376	2.1224	2.1074	2.0926	2.0780	2.0637	2.0495	2.0355	2.0217	2.0081	1.9946	1.9814	1.9683
1210	2.1945	2.1785	2.1628	2.1473	2.1320	2.1169	2.1021	2.0874	2.0730	2.0587	2.0447	2.0308	2.0171	2.0036	1.9903	1.9772
1220	2.2043	2.1883	2.1725	2.1569	2.1416	2.1265	2.1115	2.0968	2.0823	2.0680	2.0539	2.0400	2.0262	2.0127	1.9993	1.9861
1230	2.2142	2.1981	2.1822	2.1666	2.1512	2.1360	2.1210	2.1062	2.0916	2.0773	2.0631	2.0491	2.0353	2.0217	2.0082	1.9950
1240	2.2241	2.2079	2.1920	2.1763	2.1608	2.1455	2.1304	2.1156	2.1010	2.0865	2.0723	2.0582	2.0444	2.0307	2.0172	2.0039
1250	2.2340	2.2177	2.2017	2.1859	2.1704	2.1550	2.1399	2.1250	2.1103	2.0958	2.0815	2.0674	2.0534	2.0397	2.0261	2.0128
1260	2.2438	2.2275	2.2114	2.1956	2.1799	2.1645	2.1494	2.1344	2.1196	2.1050	2.0907	2.0765	2.0625	2.0487	2.0351	2.0217
1270	2.2537	2.2373	2.2212	2.2052	2.1895	2.1741	2.1588	2.1438	2.1289	2.1143	2.0999	2.0856	2.0716	2.0577	2.0441	2.0306
1280	2.2636	2.2471	2.2309	2.2149	2.1991	2.1836	2.1683	2.1532	2.1383	2.1236	2.1091	2.0948	2.0807	2.0667	2.0530	2.0395
1290	2.2734	2.2569	2.2406	2.2246	2.2087	2.1931	2.1777	2.1625	2.1476	2.1328	2.1183	2.1039	2.0897	2.0758	2.0620	2.0484
1300	2.2833	2.2667	2.2503	2.2342	2.2183	2.2026	2.1872	2.1719	2.1569	2.1421	2.1275	2.1130	2.0988	2.0848	2.0709	2.0572
1310	2.2932	2.2765	2.2601	2.2439	2.2279	2.2122	2.1966	2.1813	2.1662	2.1513	2.1367	2.1222	2.1079	2.0938	2.0799	2.0661
1320	2.3031	2.2863	2.2698	2.2535	2.2375	2.2217	2.2061	2.1907	2.1756	2.1606	2.1459	2.1313	2.1170	2.1028	2.0888	2.0750
1330	2.3129	2.2961	2.2795	2.2632	2.2471	2.2312	2.2155	2.2001	2.1849	2.1699	2.1551	2.1404	2.1260	2.1118	2.0978	2.0839
1340	2.3228	2.3059	2.2893	2.2729	2.2567	2.2407	2.2250	2.2095	2.1942	2.1791	2.1643	2.1496	2.1351	2.1208	2.1067	2.0928
1350	2.3327	2.3157	2.2990	2.2825	2.2663	2.2502	2.2345	2.2189	2.2035	2.1884	2.1734	2.1587	2.1442	2.1298	2.1157	2.1017
1360	2.3425	2.3255	2.3087	2.2922	2.2759	2.2598	2.2439	2.2283	2.2129	2.1976	2.1826	2.1678	2.1533	2.1388	2.1246	2.1106
1370	2.3524	2.3353	2.3184	2.3018	2.2854	2.2693	2.2534	2.2377	2.2222	2.2069	2.1918	2.1770	2.1623	2.1479	2.1336	2.1195
1380	2.3623	2.3451	2.3282	2.3115	2.2950	2.2788	2.2628	2.2471	2.2315	2.2162	2.2010	2.1861	2.1714	2.1569	2.1425	2.1284
1390	2.3722	2.3549	2.3379	2.3211	2.3046	2.2883	2.2723	2.2564	2.2408	2.2254	2.2102	2.1953	2.1805	2.1659	2.1515	2.1373
1400	2.3820	2.3647	2.3476	2.3308	2.3142	2.2979	2.2817	2.2658	2.2502	2.2347	2.2194	2.2044	2.1895	2.1749	2.1604	2.1462
1410	2.3919	2.3745	2.3574	2.3405	2.3238	2.3074	2.2912	2.2752	2.2595	2.2440	2.2286	2.2135	2.1986	2.1839	2.1694	2.1551
1420	2.4018	2.3843	2.3671	2.3501	2.3334	2.3169	2.3006	2.2846	2.2688	2.2532	2.2378	2.2227	2.2077	2.1929	2.1784	2.1640
1430	2.4116	2.3941	2.3768	2.3598	2.3430	2.3264	2.3101	2.2940	2.2781	2.2625	2.2470	2.2318	2.2168	2.2019	2.1873	2.1729
1440	2.4215	2.4039	2.3866	2.3694	2.3526	2.3360	2.3196	2.3034	2.2875	2.2717	2.2562	2.2409	2.2258	2.2110	2.1963	2.1818
1450	2.4314	2.4137	2.3963	2.3791	2.3622	2.3455	2.3290	2.3128	2.2968	2.2810	2.2654	2.2501	2.2349	2.2200	2.2052	2.1907
1460	2.4413	2.4235	2.4060	2.3888	2.3718	2.3550	2.3385	2.3222	2.3061	2.2903	2.2746	2.2592	2.2440	2.2290	2.2142	2.1996
1470	2.4511	2.4333	2.4157	2.3984	2.3814	2.3645	2.3479	2.3316	2.3154	2.2995	2.2838	2.2683	2.2531	2.2380	2.2231	2.2084
1480	2.4610	2.4431	2.4255	2.4081	2.3909	2.3740	2.3574	2.3410	2.3248	2.3088	2.2930	2.2775	2.2621	2.2470	2.2321	2.2173
1490	2.4709	2.4529	2.4352	2.4177	2.4005	2.3836	2.3668	2.3503	2.3341	2.3180	2.3022	2.2866	2.2712	2.2560	2.2410	2.2262
1500	2.4808	2.4627	2.4449	2.4274	2.4101	2.3931	2.3763	2.3597	2.3434	2.3273	2.3114	2.2957	2.2803	2.2650	2.2500	2.2351

(1) 1 mbar = 10 mm H_2O 1 atmosfera = 1Kg/cm^2 = 1000 mbar = 10000 mm H_2O

CIB UNIGAS S.p.A.
Via C. Colombo, 9 35011 CAMPODARSEGO (PD)
Tel. 049-9200944 Fax 049-9200945
Internet: www.cibunigas.it
e-mail: cibunigas@cibunigas.it

GUIDA PRATICA ALL'ANALISI

DELLA COMBUSTIONE

G. SCATTOLIN

BRUCIATORI DI:
GAS - GASOLIO - NAFTA - MISTI GAS/GASOLIO - MISTI GAS/OLIO COMBUSTIBILE

INDICE

MISURAZIONE IN OPERA DEL RENDIMENTO DI COMBUSTIONE 24

Frequenza delle operazioni 24

Strumenti 24

Operazioni preliminari 24

Calcolo della potenza bruciata 24

Impianti alimentati a combustibile liquido 24

Impianti alimentati a combustibile gassoso 25

Condizioni di misura 27

Modalità operative 28

CALCOLO DEL RENDIMENTO DI COMBUSTIONE 29

RENDIMENTO MINIMO DI COMBUSTIONE 32

MISURAZIONE IN OPERA DEL RENDIMENTO DI COMBUSTIONE

Frequenza delle operazioni

- Generatori di calore con potenza al focolare minore di 35 kW **ogni due anni.**
- Generatori di calore con potenza al focolare superiore o uguale 35 kW e fino a 350 kW **una volta all'anno.**
- Per le centrali termiche dotate di generatore di calore o di generatori di calore la cui potenza al focolare complessiva sia maggiore o uguale a 350 kW **due volte all'anno**, di cui la seconda determinazione del rendimento di combustione, a metà del periodo di riscaldamento.

Strumenti[(1)]

1. Analizzatore di Anidride Carbonica CO_2 / oppure Analizzatore di Ossigeno O_2;
2. Analizzatore di Monossido di Carbonio CO (solo gas);
3. Strumento di misura dell'indice di fumosità "Bacharach" (solo combustibili liquidi);
4. Termometro per la misurazione della temperatura dell'aria comburente;
5. Termometro per la misurazione della temperatura dei prodotti della combustione;

- (Gli strumenti di cui ai punti 1, 2, 3, 4, 5 possono essere sostituiti da un unico apparecchio multifunzione (vedi figura 4, pag. 29);
- Termometro per la misurazione della temperatura del fluido di caldaia;
- Cronometro.

Operazioni preliminari

Calcolo della potenza bruciata

Prima di procedere con le varie regolazioni e misurazioni si deve individuare la potenzialità al focolare effettiva della caldaia, dividerla per il Potere Calorifico Inferiore (vedi tabella 1), quindi procedere come segue:

Impianti alimentati a combustibile liquido

Verificare la grandezza (GPH) dell'ugello/i (vedi pagine 26 e 27), quindi rilevare la pressione di polverizzazione (pressione all'ugello[(2)]), a questo punto si ricava la portata di combustibile in kg/h facendo riferimento alle tabella 2 e 3, il dato rilevato va moltiplicato per il potere calorifico inferiore corrispondente (vedi tabella 1, pag. 25), ottenendo la potenzialità effettivamente bruciata.

---

(1) La norma UNI 10389 "misurazione in opera del rendimento di combustione", prevede che gli strumenti devono essere gestiti, tarati e verificati periodicamente in modo da garantire la riferibilità della misura ai campioni nazionali del Sistema Nazionale di Taratura (SNT)

(2) La pressione va misurata nei punti indicati dai costruttori di bruciatori, o in mancanza di questi, direttamente sulla pompa del combustibile.

Il dato ottenuto deve essere pari o inferiore alla potenza al focolare della caldaia e una volta trasformato in kW registrato nel libretto di centrale al punto 7 (potenza.....kW).

Impianti alimentati a combustibile gassoso

Negli impianti alimenti a gas di rete la portata di combustibile viene rilevata facendo una lettura al contatore, per quanto riguarda il calcolo della potenza effettivamente bruciata e le trascrizioni da effettuare nel libretto di centrale, vale quanto sopra esposto.
Si raccomanda di fare molta attenzione quando si effettua la lettura al contatore, in quanto se questo è posto in una linea di adduzione gas ad elevata pressione, si dovrà tenere conto della comprimibilità del gas (vedi pagina 18).
Nel caso di impianti alimentati a GPL (solitamente privi di contatore) si deve fare riferimento alle tabelle fornite dai costruttori di bruciatori o di caldaie, in mancanza di queste si farà riferimento ai parametri di combustione riportati in tabella 4 (vedi pagina 32).
Negli impianti privi di contatore, non potendo determinare la portata di combustibile effettivamente bruciata, si assume come potenza termica del focolare quella dichiarata dal costruttore, e il dato in kW, dovrà essere registrato nel libretto di centrale al punto 7 (potenza.....kW).

Per il calcolo della potenza effettivamente bruciata si deve ***moltiplicare*** la portata del combustibile per i seguenti valori:
Per il calcolo della portata di combustibile da bruciare in un generatore di calore si deve ***dividere*** la potenzialità al focolare del generatore stesso per i seguenti valori:

Combustibile		**Potere Calorifico Inferiore**[(1)]
Gas Naturale	Per ottenere la potenza termica del focolare in kW	9,60
	Per ottenere la potenza termica del focolare in kcal/h	8.250
Gas di petrolio liquefatto	Per ottenere la potenza termica del focolare in kW	31,4
	Per ottenere la potenza termica del focolare in kcal/h	27.000
Gasolio	Per ottenere la potenza termica del focolare in kW	11,872
	Per ottenere la potenza termica del focolare in kcal/h	10.210
Olio combustibile	Per ottenere la potenza termica del focolare in kW	11,477
	Per ottenere la potenza termica del focolare in kcal/h	9.870
Bio-Diesel	Per ottenere la potenza termica del focolare in kW	10,413
	Per ottenere la potenza termica del focolare in kcal/h	8.956

Tabella 1

(1) Potere Calorifico Inferiore riferito al m^3 per i combustibili gassosi e al kg per i combustibili liquidi.

TABELLA PORTATA UGELLI PER GASOLIO

UGELLO	PRESSIONE POMPA IN BAR													
G.P.H.	8	9	10	11	***12***	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0.40	1.36	1.44	1.52	1.59	***1.67***	1.73	1.80	1.86	1.92	1.98	2.04	2.10	2.15	2.20
0.50	1.70	1.80	1.90	1.99	***2.08***	2.17	2.25	2.33	2.40	2.48	2.55	2.62	2.69	2.75
0.60	2.04	2.16	2.28	2.39	***2.50***	2.60	2.70	2.79	2.88	2.97	3.06	3.14	3.22	3.30
0.65	2.21	2.34	2.47	2.59	***2.71***	2.82	2.92	3.03	3.12	3.22	3.31	3.41	3.49	3.58
0.75	2.55	2.70	2.85	2.99	***3.12***	3.25	3.37	3.49	3.61	3.72	3.82	3.93	4.03	4.13
0.85	2.89	3.06	3.23	3.39	***3.54***	3.68	3.82	3.96	4.09	4.21	4.33	4.45	4.57	4.68
1.00	3.40	3.61	3.80	3.99	***4.16***	4.33	4.50	4.65	4.81	4.96	5.10	5.24	5.37	5.51
1.10	3.74	3.97	4.18	4.38	***4.58***	4.77	4.95	5.12	5.29	5.45	5.61	5.76	5.91	6.06
1.20	4.08	4.33	4.56	4.78	***5.00***	5.20	5.40	5.59	5.77	5.95	6.12	6.29	6.45	6.61
1.25	4.25	4.50	4.75	5.00	***5.20***	5.40	5.60	5.80	6.00	6.20	6.35	6.55	6.70	6.85
1.35	4.59	4.87	5.13	5.38	***5.62***	5.85	6.07	6.28	6.49	6.69	6.88	7.07	7.26	7.44
1.50	5.10	5.41	5.70	5.90	***6.24***	6.50	6.75	6.98	7.21	7.43	7.65	7.86	8.06	8.26
1.65	5.61	5.95	6.27	6.58	***6.87***	7.15	7.42	7.68	7.93	8.18	8.41	8.64	8.87	9.09
1.75	5.95	6.31	6.65	6.98	***7.29***	7.58	7.87	8.15	8.41	8.67	8.92	9.17	9.41	9.64
2.00	6.80	7.21	7.60	7.97	***8.33***	8.67	8.99	9.31	9.61	9.91	10.20	10.48	10.75	11.01
2.25	7.65	8.15	8.55	8.97	***9.37***	9.75	10.12	10.47	10.85	11.15	11.47	11.79	12.09	12.39
2.50	8.50	9.01	9.50	9.97	***10.41***	10.83	11.24	11.64	12.02	12.39	12.75	13.10	13.44	13.77
3.00	10.20	10.82	11.40	11.96	***12.49***	13.00	13.49	13.96	14.42	14.87	15.30	15.72	16.12	16.52
3.50	11.90	12.62	13.30	13.95	***14.57***	15.17	15.74	16.29	16.83	17.34	17.85	18.34	18.81	19.28
4.00	13.60	14.42	15.20	15.94	***16.65***	17.33	17.99	18.62	19.23	19.82	20.40	20.95	21.50	22.03
4.50	15.30	16.22	17.10	17.94	***18.73***	19.50	20.24	20.95	21.63	22.30	22.95	23.57	24.19	24.78
5.00	17.00	18.03	19.00	19.93	***20.82***	21.67	22.48	23.27	24.04	24.78	25.49	26.19	26.87	27.54
5.50	18.70	19.83	20.90	21.92	***22.90***	23.83	24.73	25.60	26.44	27.25	28.04	28.81	29.56	30.29
6.00	20.40	21.63	22.80	23.92	***24.98***	26.00	26.98	27.93	28.84	29.73	30.59	31.43	32.25	33.04
6.50	22.10	23.44	23.70	25.91	***27.06***	28.17	29.23	30.26	31.25	32.21	33.14	34.05	34.94	35.80
7.00	23.79	25.24	26.60	27.90	***29.14***	30.33	31.48	32.58	33.65	34.69	35.69	36.67	37.62	38.55
7.50	25.49	27.04	28.50	29.90	***31.22***	32.50	33.73	34.91	36.05	37.16	38.24	39.29	40.31	41.31
8.30	28.21	29.93	31.54	33.08	***34.55***	35.97	37.32	38.63	39.90	41.13	42.32	43.48	44.61	45.71
9.50	32.29	34.25	36.10	37.87	***39.55***	41.17	42.72	44.22	45.67	47.07	48.44	49.77	51.06	52.32
10.50	35.69	37.86	40.06	41.73	***43.74***	45.41	47.20	48.90	50.50	52.00	53.50	55.00	56.40	57.80
12.00	40.80	43.30	45.60	47.80	***50.00***	52.00	54.00	55.90	57.70	59.50	61.20	62.90	64.50	66.10
13.80	46.90	49.80	52.40	55.00	***57.50***	59.80	62.10	64.20	66.30	68.40	70.40	72.30	74.30	76.00
15.30	52.00	55.20	58.10	61.00	***63.70***	66.30	68.80	71.10	73.60	75.80	78.00	80.20	82.20	84.30
17.50	59.50	63.10	66.50	69.80	***72.90***	75.80	78.70	81.50	84.10	86.70	89.20	91.70	94.10	96.40
19.50	66.30	70.30	74.10	77.70	***81.20***	84.50	87.70	90.80	93.70	96.60	99.40	102.20	104.80	107.40
21.50	73.10	77.50	81.70	85.70	***89.50***	93.20	96.70	100.10	103.40	106.50	109.60	112.60	115.60	118.40
24.00	81.60	86.50	91.20	95.70	***99.90***	104.00	107.90	111.70	115.40	118.90	122.40	125.70	129.00	132.20
28.00	95.20	101.00	106.40	111.60	***116.60***	121.30	125.90	130.30	134.60	138.70	142.80	146.70	150.50	154.20
30.00	102.00	108.20	114.00	119.60	***124.90***	130.00	134.90	139.60	144.20	148.70	153.00	157.20	161.20	165.20
G.P.H	PORTATA ALL' USCITA DELL' UGELLO IN kg/h													

In grassetto corsivo i valori consigliati.

TABELLA 2

TABELLA PORTATA UGELLI PER OLIO COMBUSTIBILE (NAFTA)

UGELLO	PRESSIONE POMPA IN BAR													
G.P.H.	17	18	19	20	21	22	23	24	***25***	26	27	28	29	30
0.60	3.30	3.35	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	***3.95***	4.00	4.10	4.20	4.30	4.40
0.65	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00	4.10	4.20	***4.30***	4.35	4.40	4.50	4.60	4.70
0.75	4.10	4.20	4.30	4.40	4.50	4.60	4.70	4.80	***4.90***	5.00	5.10	5.20	5.30	5.40
0.85	4.60	4.70	4.90	5.00	5.10	5.20	5.40	5.50	***5.60***	5.70	5.80	5.90	6.00	6.10
1.00	5.40	5.60	5.70	5.90	6.00	6.20	6.30	6.40	***6.60***	6.70	6.80	7.00	7.10	7.20
1.10	6.00	6.10	6.30	6.50	6.60	6.80	6.90	7.10	***7.20***	7.40	7.50	7.70	7.80	7.90
1.20	6.50	6.70	6.90	7.10	7.20	7.40	7.60	7.70	***7.90***	8.10	8.20	8.40	8.50	8.70
1.25	6.60	6.80	7.00	7.20	7.30	7.50	7.70	7.80	***8.00***	8.20	8.40	8.50	8.70	8.90
1.35	7.30	7.50	7.70	7.90	8.10	8.30	8.50	8.70	***8.90***	9.10	9.20	9.40	9.60	9.70
1.50	8.10	8.40	8.60	8.80	9.00	9.30	9.50	9.70	***9.90***	10.10	10.30	10.40	10.60	10.80
1.65	9.00	9.20	9.50	9.70	10.00	10.20	10.40	10.60	***10.90***	11.10	11.30	11.50	11.70	11.90
1.75	9.50	9.80	10.00	10.30	10.60	10.80	11.00	11.30	***11.50***	11.70	12.00	12.20	12.40	12.60
2.00	10.90	11.20	11.50	11.80	12.10	12.30	12.60	12.90	***13.20***	13.40	13.70	13.90	14.20	14.40
2.25	12.20	12.60	12.90	13.20	13.60	13.90	14.20	14.50	***14.80***	15.10	15.40	15.70	15.90	16.20
2.50	13.60	14.00	14.30	14.70	15.10	15.40	15.80	16.10	***16.50***	16.80	17.10	17.40	17.70	18.00
3.00	16.30	16.80	17.20	17.70	18.10	18.50	18.90	19.30	***19.70***	20.10	20.50	20.90	21.30	21.60
3.50	19.00	19.60	20.10	20.60	21.10	21.60	22.10	22.50	***23.00***	23.50	23.90	24.40	24.80	25.80
4.00	21.70	22.30	23.00	23.50	24.10	24.70	25.30	25.80	***26.30***	26.80	27.40	27.90	28.40	28.80
4.50	24.40	25.10	25.80	26.50	27.10	27.80	28.40	29.00	***29.60***	30.20	30.80	31.30	31.90	32.40
5.00	27.10	27.90	28.70	29.40	30.20	30.90	31.60	32.20	***32.90***	33.60	34.20	34.80	35.40	36.00
5.50	29.80	30.70	31.60	32.40	33.20	34.00	34.70	35.50	***36.20***	36.90	37.60	38.30	39.00	39.70
6.00	32.60	33.50	34.40	35.30	36.20	37.00	37.90	38.70	***39.50***	40.30	41.00	41.80	42.50	43.30
6.50	35.30	36.30	37.30	38.30	39.20	40.10	41.00	41.90	***42.80***	43.60	44.50	45.30	46.10	46.90
7.00	38.00	39.10	40.20	41.20	42.20	43.20	44.20	45.10	***46.10***	47.00	47.90	48.80	49.60	50.50
7.50	40.70	41.90	43.00	44.10	45.20	46.30	47.30	48.40	***49.40***	50.30	51.30	52.20	53.20	54.10
8.30	45.00	46.40	47.60	48.90	50.10	51.20	52.40	53.50	***54.60***	55.70	56.80	57.80	58.80	59.80
9.50	51.60	53.10	54.50	55.90	57.30	58.70	60.00	61.30	***62.50***	63.80	65.00	66.20	67.30	68.50
10.50	57.00	58.60	60.20	61.80	63.30	64.80	66.30	67.70	***69.10***	70.50	71.80	73.10	74.40	75.70
12.00	65.10	67.00	68.90	70.60	72.40	74.10	75.80	77.40	***79.00***	80.50	82.10	83.60	85.10	86.50
13.80	74.90	77.10	79.20	81.20	83.20	85.20	87.10	89.00	***90.80***	92.60	94.40	96.10	97.80	99.50
15.30	83.00	85.40	87.80	90.10	92.30	94.50	96.60	98.70	***100.70***	102.70	104.60	106.60	108.50	110.30
17.50	95.00	97.70	100.40	103.00	105.60	108.00	110.50	112.80	***115.20***	117.50	119.70	121.90	124.00	126.20
19.50	105.80	108.90	111.90	114.80	117.60	120.40	123.10	125.70	***128.30***	130.90	133.40	135.20	138.20	140.60
21.50	116.70	120.10	123.40	126.60	129.70	132.70	135.70	138.60	***141.50***	144.30	147.10	149.80	152.40	155.00
24.00	130.30	134.00	137.70	141.30	144.80	148.20	151.50	154.80	***158.00***	161.10	164.20	167.20	170.10	173.00
28.00	152.00	156.40	160.70	164.80	168.90	172.90	176.80	180.60	***184.30***	187.90	191.50	195.00	198.50	201.90
30.00	162.80	167.50	172.10	176.60	181.00	185.20	189.40	193.50	***197.40***	201.40	205.20	209.00	212.70	216.30
G.P.H	PORTATA ALL' USCITA DELL' UGELLO IN kg/h													

In grassetto corsivo i valori consigliati.

TABELLA 3

Condizioni di misura

Le misurazioni devono essere eseguite quando il generatore di calore si trova nello stato di regime (circa 70 °C per i generatori ad acqua calda) e alla massima potenza al focolare prevista per tale misurazione.
La messa a regime dei generatori di vapore deve essere fatta con estrema cautela, in quanto un aumento di pressione troppo rapido, può danneggiare il generatore.

Modalità operative

- Praticare un foro di diametro adeguato all'inserimento delle sonde per le misurazioni (ca. 10 mm.), nel raccordo fumi, caldaia/camino, a due diametri di distanza dall'uscita del generatore (vedi fig. 1, 2, 3), dove disponibile, usare l'apposito foro predisposto dal costruttore del generatore di calore;
- Assicurarsi che non ci siano infiltrazioni d'aria prima del foro di prelievo dei prodotti della combustione (sigillare eventuali fori, feritoie, ecc..), in quanto, l'aria secondaria andrebbe ad alterare i valori misurati, inficiando in questo modo la prova;
- Portare a regime il generatore di calore (ca. 70°C per generatori di calore ad acqua calda);
- Effettuare le misurazioni (la misurazione di ogni singolo parametro deve essere effettuata almeno tre volte, ad intervalli di tempo eguali nel periodo di prova ritenuto necessario dall'operatore, e ogni volta almeno 120 secondi dopo l'inizio del prelievo);
- Sigillare il foro praticato per le misurazioni;
- Trascrivere i dati rilevati nel libretto di centrale o nel libretto di impianto (il valore misurato di ogni singolo parametro è ottenuto dalla media aritmetica delle prime tre misurazioni significative. Eventuali misurazioni anomale non devono essere prese in considerazione).

Il calcolo del rendimento di combustione dovrà essere eseguito secondo quanto previsto dalla Norma UNI 10389 e illustrato al successivo punto.

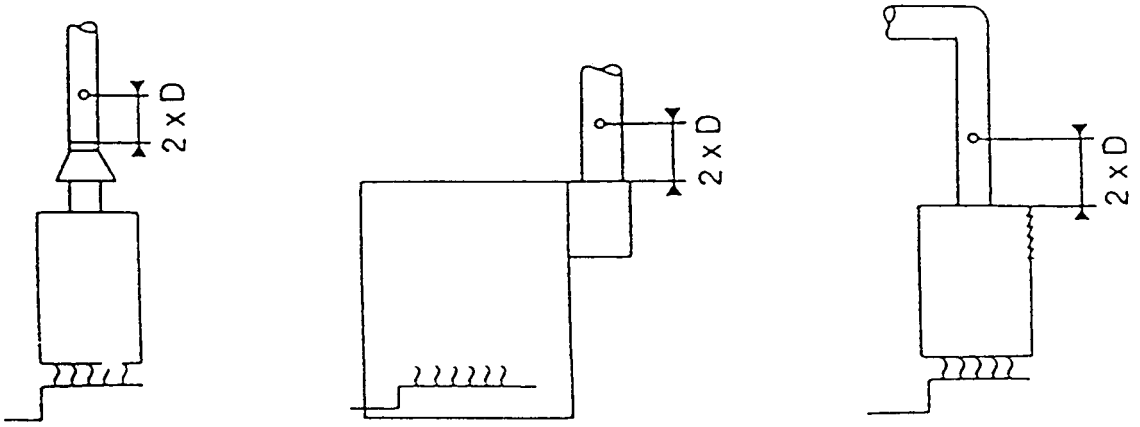


Fig. 1

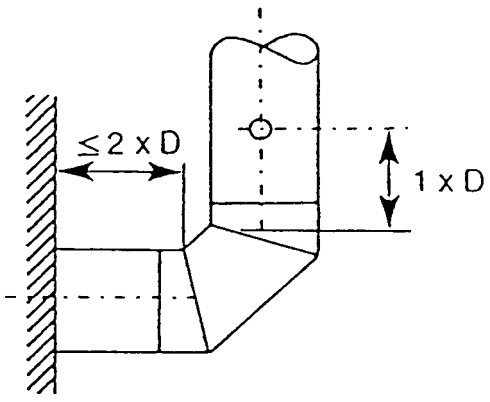


Fig. 2

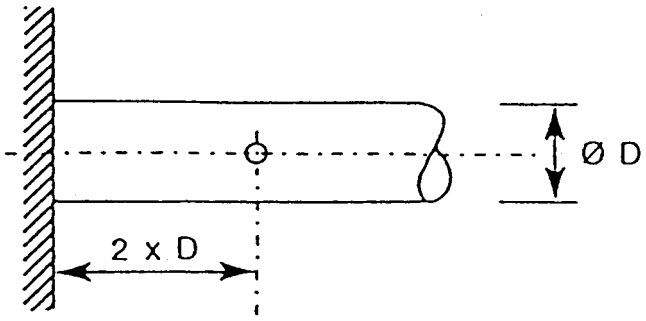


Fig. 3

Fig. 4

CALCOLO DEL RENDIMENTO DI COMBUSTIONE

Rendimento = 100 - Q_s

La potenza termica persa al camino si ricava con le seguenti formule convenzionali:

$Q_s = (A_1/(21-O_2)+B) \bullet (T_f - T_a)$

nel caso di misura della concentrazione dell'ossigeno nei prodotti della combustione.

$Q_s = (A_2/CO_2+B) \bullet (T_f - T_a)$

nel caso di misura della concentrazione dell'anidride carbonica nei prodotti della combustione.

Dove:	Q_s	è il valore delle perdite per calore sensibile espresso in percentuale
	T_f	è la temperatura dei fumi, in gradi centigradi;
	T_a	è la temperatura dell'aria comburente, in gradi centigradi
	O_2	è la concentrazione di ossigeno nei fumi secchi, in per cento in volume;
	CO_2	è la concentrazione di anidride carbonica nei fumi secchi, in per cento in volume;
	A_1, A_2, B	sono i coefficienti, dati dal prospetto 1, per i diversi combustibili.

A_1	A_2	B	Combustibile
0,66	0,38	0,010	gas naturale (metano)
0,63	0,42	0,008	GPL
0,68	0,50	0,007	gasolio
0,68	0,52	0,007	oli combustibili

Prospetto 1 - Coefficienti per il calcolo del rendimento di combustione

Esempio di calcolo del rendimento di combustione:

Combustibile : gas naturale
CO_2 : 9,8
T_f : 190 °C
T_a : 18 °C

$$Q_s = (A_2/CO_2+B) \bullet (T_f - T_a)$$

$$Q_s = (0,38 / 9,8 + 0,010) \times (190 - 18) = 8,3893$$

Il valore di Q_s ottenuto deve essere arrotondato alla prima cifra decimale.

$$Q_s = 8,4$$

Il rendimento di combustione del generatore riferito alla potenza termica del focolare alla quale è stata effettuata la misurazione, è dato da:

$$\eta = 100 - Q_s$$
$$\eta = 100 - 8,4 = 91,6\ \%$$

Considerata l'incertezza di misura, legata alle incertezze relative agli strumenti di misura e alla lettura dei parametri misurati (vedere UNI 4546), il risultato deve essere indicato con un'incertezza di ± 2, pertanto nei libretti di centrale o di impianto si dovrà indicare:

$$\eta = 91,6\ \% \pm 2$$

La Norma UNI 10389 stabilisce inoltre i valori massimi consentiti di CO e l'indice di fumosità (Bacharach[(1)]).

Il valore rilevato di CO deve essere riportato alla condizione di prodotti della combustione secchi e senz'aria moltiplicando il valore misurato per:

21 / (21-O_2) se è stata rilevata la concentrazione di ossigeno nei prodotti della combustione;

CO_{2t} / CO_2 se è stata rilevata la concentrazione di anidride carbonica nei prodotti della combustione. I valori convenzionali di CO_{2t} da inserire nella formula, a seconda dei diversi combustibili, sono riportati nella seguente tabella:

Combustibile	CO_{2t}
gas naturale	11,7
GPL	13,9
gasolio	15,1
olio combustibile	15,7

Se la concentrazione di CO riportata alla condizione di prodotti della combustione secchi e senz'aria risulta maggiore di 0,1% (1000 ppm), e non è possibile ricondurlo al di sotto di questo valore mediante l'intervento del conduttore o del manutentore, l'esito del controllo della combustione è da considerarsi negativo, a prescindere dal valore misurato del rendimento di combustione.
Lo stesso dicasi, nel caso di generatori di calore alimentati con combustibile liquido, se l'indice di fumosità riferito alla scala di Bacharach, risulta maggiore di 2 per il gasolio e maggiore di 6 per l'olio combustibile.

Esempio di calcolo del CO (per trovare il dato da riportare nel libretto di centrale):

Tipo gas: gas naturale
CO_{2t} teorico: 11,7 %
CO_{2m} misurato: 9,8 %
CO_m misurato: 80 ppm

CO nei fumi secchi e senz'aria = $CO_m \times \frac{CO_{2t}}{CO_{2m}}$

CO nei fumi secchi e senz'aria = $80 \times \frac{11,7}{9,8} = 95,51 \text{ppm} \ / \ \text{pari a } 0,0095\%$

(1) La prova di Bacharach si ritiene superata se almeno due delle tre misurazioni forniscono risultati non superiori a quello limite, inoltre se al termine di una di esse il campione di carta risultasse anche parzialmente bruciato (temperatura fumi eccessiva) o umido per effetto della condensa, la misurazione deve essere ripetuta.

PARAMETRI DI COMBUSTIONE CONSIGLIATI								
Combustibile	CO_2 Teorico (%)	CO_2 Consigliato (%)	O_2 Consigliato	Emissioni valori massimi	Punto di rugiada	Temperatura fumi (1) (°C)	Perdita per calore sensibile	Rendimento di combustione
Metano	11.7	9 ÷ 10	4.8 ÷ 3	CO < 1.000 ppm	60 ÷ 70	130 ÷ 150	9.4 ÷ 7.2	90.6 ÷ 92.8
GPL	13.9	11 ÷ 12	4.3 ÷ 2.8	CO < 1.000 ppm	60 ÷70	130 ÷ 150	8.4 ÷ 6.5	91.6 ÷ 93.5
Gasolio Zolfo < 0,3%	15.1	11.5 ÷ 13	4.9 ÷ 2.9	N° Bacharach max 1	± 130	180 ÷ 200	10.1 ÷ 8.2	89.9 ÷ 91.8
Olio comb. fluido 3 ÷ 5 °E a 50 °C	15.8	11 ÷ 12	6.2 ÷ 4.2	N° Bacharach max 6	± 130	180 ÷ 200	10.9 ÷ 8.8	89.1 ÷ 90.9
Olio comb. denso 15 ÷ 20 °E a 50 °C	16.2	11 ÷ 12.5	6.7 ÷ 4.7	N° Bacharach max 6	± 140	180 ÷ 200	10.9 ÷ 8.8	89.1 ÷ 91.2

(1) Relativa a generatori di calore ad acqua calda.

Tabella 4

RENDIMENTO MINIMO DI COMBUSTIONE

Qui di seguito riportiamo quanto previsto dal DPR 412 riguardo i rendimenti minimi dei generatori di calore.
Nelle pagine 33, 34, 35 e 36, riportiamo inoltre il calcolo già sviluppato dei rendimenti minimi.

ARTICOLO 11 COMMA 15:

Qualora i generatori di calore installati antecedentemente alla data di entrata in vigore del presente regolamento (29-10-1993) non possano essere ricondotti mediante operazioni di manutenzione ai valori di rendimento di combustione indicati alle lettere a) e c) (vedi nostri allegati 1 e 2) del comma 14 è prescritta la loro sostituzione entro i termini appresso indicati :

Potenza nominale	Termini
350 kW e oltre	Entro il 30 Settembre 1994
Inferiore a 350 kW per zone climatiche E, F	Entro il 30 Settembre 1995
Inferiore a 350 kW per le restanti zone	Entro il 30 Settembre 1996

I generatori di calore installati successivamente alla data di entrata in vigore del presente regolamento (29-10-1993) per i quali, durante le operazioni di verifica in esercizio, siano stati rilevati rendimenti di combustione inferiori a quelli indicati alla lettere b) e d) del comma 14, non riconducibili a tali valori mediante operazioni di manutenzione, devono essere sostituiti entro 300 giorni solari a partire dalla data della verifica.

VALORI DI RENDIMENTO MINIMO DI COMBUSTIONE PER GENERATORI DI CALORE AD ACQUA CALDA SECONDO D.P.R. 412 ALLEGATO "E" Punto 1. da 5 a 200 kW

kW	Rendimento Termico Utile alla Potenza Nominale $\eta=(84 + 2 \log Pn)$ %	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad acqua calda installati prima del 29-10-1993**	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad acqua calda installati dopo il 29-10-1993**
5	85.40	81.40	84.40
10	86.00	82.00	85.00
15	86.35	82.35	85.35
20	86.60	82.60	85.60
25	86.80	82.80	85.80
30	86.95	82.95	85.95
35	87.09	83.09	86.09
40	87.20	83.20	86.20
45	87.31	83.31	86.31
50	87.40	83.40	86.40
55	87.48	83.48	86.48
60	87.56	83.56	86.56
65	87.63	83.63	86.63
70	87.69	83.69	86.69
75	87.75	83.75	86.75
80	87.81	83.81	86.81
85	87.86	83.86	86.86
90	87.91	83.91	86.91
100	88.00	84.00	87.00
105	88.04	84.04	87.04
110	88.08	84.08	87.08
115	88.12	84.12	87.12
120	88.16	84.16	87.16
125	88.19	84.19	87.19
130	88.23	84.23	87.23
135	88.26	84.26	87.26
140	88.29	84.29	87.29
145	88.32	84.32	87.32
150	88.35	84.35	87.35
155	88.38	84.38	87.38
160	88.41	84.41	87.41
165	88.43	84.43	87.43
170	88.46	84.46	87.46
175	88.49	84.49	87.49
180	88.51	84.51	87.51
185	88.53	84.53	87.53
190	88.56	84.56	87.56
195	88.58	84.58	87.58
200	88.60	84.60	87.60

VALORI DI RENDIMENTO MINIMO DI COMBUSTIONE PER GENERATORI DI CALORE AD ACQUA CALDA SECONDO D.P.R. 412 ALLEGATO "E" Punto1. da 205 a 400 kW E OLTRE

kW	Rendimento Termico Utile alla Potenza Nominale $\eta=(84 + 2 \log Pn)$ %	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad acqua calda installati prima del 29-10-1993**	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad acqua calda installati dopo il 29-10-1993**
205	88.62	84.62	87.62
210	88.64	84.64	87.64
220	88.68	84.68	87.68
225	88.70	84.70	87.70
230	88.72	84.72	87.72
235	88.74	84.74	87.74
240	88.76	84.76	87.76
245	88.78	84.78	87.78
250	88.80	84.80	87.80
255	88.81	84.81	87.81
260	88.83	84.83	87.83
265	88.85	84.85	87.85
270	88.86	84.86	87.86
275	88.88	84.88	87.88
280	88.89	84.89	87.89
285	88.91	84.91	87.91
290	88.92	84.92	87.92
295	88.94	84.94	87.94
300	88.95	84.95	87.95
305	88.97	84.97	87.97
310	88.98	84.98	87.98
315	89.00	85.00	88.00
320	89.01	85.01	88.01
325	89.02	85.02	88.02
330	89.04	85.04	88.04
335	89.05	85.05	88.05
340	89.06	85.06	88.06
345	89.08	85.08	88.08
350	89.09	85.09	88.09
355	89.10	85.10	88.10
360	89.11	85.11	88.11
365	89.12	85.12	88.12
370	89.14	85.14	88.14
375	89.15	85.15	88.15
380	89.16	85.16	88.16
385	89.17	85.17	88.17
390	89.18	85.18	88.18
395	89.19	85.19	88.19
400	89.20	85.20	88.20
OLTRE	89.20	85.20	88.20

VALORI DI RENDIMENTO MINIMO DI COMBUSTIONE PER GENERATORI DI CALORE AD ARIA CALDA SECONDO D.P.R. 412 ALLEGATO "E" Punto 2. da 5 a 200 kW

kW	Rendimento minimo di combustione alla Potenza Nominale η_c=(83 + 2 log Pn) %	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad aria calda installati prima del 29-10-1993**	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad aria calda installati dopo il 29-10-1993**
5	84.40	78.40	81.40
10	85.00	79.00	82.00
15	85.35	79.35	82.35
20	85.60	79.60	82.60
25	85.80	79.80	82.80
30	85.95	79.95	82.95
35	86.09	80.09	83.09
40	86.20	80.20	83.20
45	86.31	80.31	83.31
50	86.40	80.40	83.40
55	86.48	80.48	83.48
60	86.56	80.56	83.56
65	86.63	80.63	83.63
70	86.69	80.69	83.69
75	86.75	80.75	83.75
80	86.81	80.81	83.81
85	86.86	80.86	83.86
90	86.91	80.91	83.91
100	87.00	81.00	84.00
105	87.04	81.04	84.04
110	87.08	81.08	84.08
115	87.12	81.12	84.12
120	87.16	81.16	84.16
125	87.19	81.19	84.19
130	87.23	81.23	84.23
135	87.26	81.26	84.26
140	87.29	81.29	84.29
145	87.32	81.32	84.32
150	87.35	81.35	84.35
155	87.38	81.38	84.38
160	87.41	81.41	84.41
165	87.43	81.43	84.43
170	87.46	81.46	84.46
175	87.49	81.49	84.49
180	87.51	81.51	84.51
185	87.53	81.53	84.53
190	87.56	81.56	84.56
195	87.58	81.58	84.58
200	87.60	81.60	84.60

VALORI DI RENDIMENTO MINIMO DI COMBUSTIONE PER GENERATORI DI CALORE AD ARIA CALDA SECONDO D.P.R. 412 ALLEGATO "E" Punto 2. da 205 a 400 kW E OLTRE

kW	Rendimento minimo di combustione alla Potenza Nominale η_c=(83 + 2 log Pn) %	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad aria calda installati prima del 29-10-1993**	Rendimento minimo di combustione per **generatori di calore ad aria calda installati dopo il 29-10-1993**
205	87.62	81.62	84.62
210	87.64	81.64	84.64
220	87.68	81.68	84.68
225	87.70	81.70	84.70
230	87.72	81.72	84.72
235	87.74	81.74	84.74
240	87.76	81.76	84.76
245	87.78	81.78	84.78
250	87.80	81.80	84.80
255	87.81	81.81	84.81
260	87.83	81.83	84.83
265	87.85	81.85	84.85
270	87.86	81.86	84.86
275	87.88	81.88	84.88
280	87.89	81.89	84.89
285	87.91	81.91	84.91
290	87.92	81.92	84.92
295	87.94	81.94	84.94
300	87.95	81.95	84.95
305	87.97	81.97	84.97
310	87.98	81.98	84.98
315	88.00	82.00	85.00
320	88.01	82.01	85.01
325	88.02	82.02	85.02
330	88.04	82.04	85.04
335	88.05	82.05	85.05
340	88.06	82.06	85.06
345	88.08	82.08	85.08
350	88.09	82.09	85.09
355	88.10	82.10	85.10
360	88.11	82.11	85.11
365	88.12	82.12	85.12
370	88.14	82.14	85.14
375	88.15	82.15	85.15
380	88.16	82.16	85.16
385	88.17	82.17	85.17
390	88.18	82.18	85.18
395	88.19	82.19	85.19
400	88.20	82.20	85.20
OLTRE	88.20	82.20	85.20

prima pagina

CIB UNIGAS s.p.a.
Via C. Colombo, 9 - 35011 CAMPODARSEGO (PD)
Tel. 049 9200944 - Fax Amm. 049 9200945
Fax Dir. Comm. 049 9201269 - Fax Uff. Tec. 049 9200671
Internet: www.cibunigas.it • E-Mail: cibunigas@cibunigas.it

Tip. Callegaro - Vigonza (PD) - M12903A3REV01 - 3/00